

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES**



TESIS DE POSTGRADO PREVIO LA OBTENCION DEL TÍTULO DE:

**MASTER EN REDES DE COMUNICACIONES**

**TEMA:**

**DISEÑO DE UNA RED WIFI DE LARGO ALCANCE, A TRAVÉS DEL ESPECTRO NO  
LICENCIADO, PARA PERMITIR EL ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET DE  
BANDA ANCHA, EN LOS SECTORES MAS POBLADOS DE LA ZONA RURAL DEL  
CANTÓN JUNÍN.**

**AUTOR: PEÑARRIETA BRAVO DAVID FERNANDO**

**DIRECTOR: ING. FRANCISCO BALAREZO**

Distrito Metropolitano de Quito – 2015

## **Agradecimiento**

La gratitud es un don característico en el ser humano y es la expresión que nos permite reconocer los beneficios de alguien que desinteresadamente extiende su mano generosa en bien de la superación de los demás.

Es por esto, que al culminar el trabajo de investigación, dejo constancia de mi profundo agradecimiento:

A Dios nuestro padre, por ser el quien bendice, ilumina y protege nuestro caminar día a día.

A mis padres, Olga Mercedes Bravo Bermeo y Viterbo Peñarrieta Ávila, símbolos de honradez que nunca escatimaron sacrificios para asegurar mi educación, y me enseñaron que siempre es tiempo de aprender, sobre todo a ser mejor.

A mi esposa, Eliana Lisset García Paredes, le agradezco infinitamente por creer y confiar en mí y por no dejarme caer cuando creía estar vencido.

A mis hermanas, suegros y cuñados, quienes brindaron su apoyo incondicional.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, por darme la oportunidad de mejorar mi perfil profesional.

Al Ingeniero Francisco Balarezo, Dr. Gustavo Chafra y el Dr. Francisco Rodríguez; quienes me han brindado su respaldo y aliento con abnegación y generosidad.

Y a todas las personas que aportaron con su granito de arena para lograr este tan anhelado objetivo.

Mi aprecio y admiración a ustedes.

David Fernando Peñarrieta Bravo

## **Dedicatoria**

Dedico de todo corazón este sueño hecho realidad producto de mi esfuerzo a:

Mis admirados padres, por sus sabios consejos y amor filial.

Mi esposa, compañera y amiga, fuente inagotable de amor, quien ha sido mi inspiración para salir adelante y concretar este sueño tan anhelado.

Mis queridos hijos, David y Víctor, quienes representan la bendición de Dios en mi vida.

David Fernando Peñarrieta Bravo

## Resumen

El presente trabajo de investigación plantea el Diseño de una red WiFi de largo alcance, a través del espectro no licenciado, para permitir el acceso al servicio de internet, en los centros más poblados de la zona rural del cantón Junín.

En esta investigación se analizan los estándares IEEE 802.11, y el uso actual en enlaces de largo alcance. El diseño final requiere el estudio y comportamiento del espectro radioeléctrico en la banda de frecuencia 2.4 y 5 GHz, correspondientes a franjas del espectro no licenciado. La herramienta de planificación de red y perfil topográfico (Radio-Mobile), y en la etapa de simulación del diseño de la red WiFi rural, se utiliza Ns-2.1b9a, con la mejora para enlaces inalámbricos de larga distancia TENS 1.2.

Para transmitir datos a una distancia mayor a las que propone el estándar original 802.11, se deben modificar los parámetros de la capa MAC (*ACKTimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime*) de acuerdo a la distancia de los enlaces.

El uso de la tecnología WiFi es una opción válida para aplicaciones en zonas rurales aisladas de países en vía de desarrollo.



## **Abstract**

This research paper presents the design of a long-range WiFi network through the unlicensed spectrum, to provide access to Internet services in the most populated rural areas of Junín Canton.

In this research the IEEE 802.11 standards and current use in long-range links are analyzed. The final design requires study and behavior of radio spectrum in the frequency band 2.4 and 5 GHz bands corresponding to the unlicensed spectrum. The network planning tool and topographic profile (Mobile Radio), and at the stage of design simulation rural WiFi network, Ns-2.1b9a used, with improved wireless links for long distance TENS 1.2.

To transmit data at a greater distance to the proposed original 802.11 standard, should modify the parameters of the MAC (ACKTimeout, CTSTimeout and SlotTime) layer according to the distance of the links.

The use of WiFi technology is an option for applications in isolated rural areas in developing countries.

## Índice General

Agradecimiento.....	II
Dedicatoria.....	III
Resumen.....	IV
Abstract.....	V
Índice General.....	VI
Índice de Tablas.....	XVI
Índice de Figuras.....	XVII
Capítulo I.....	1
1. Introducción y Objetivos.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	5
1.3. Justificación.....	8
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. Objetivo General.....	9
1.4.2. Objetivos Específicos.....	10
Capítulo II.....	11
2 Fundamento Teórico.....	11
2.1 WiFi.....	11

2.1.1.	Estándar IEEE 802.11.....	13
2.1.2.	Arquitectura del Estándar IEEE 802.11.....	15
2.1.3.	Grupo de Estándar IEEE 802.11.....	16
2.1.3.1.	IEEE 802.11.....	17
2.1.3.2.	IEEE 802.11b.....	18
2.1.3.3.	IEEE 802.11a.....	19
2.1.3.4.	IEEE 802.11g.....	19
2.1.3.5.	IEEE 802.11n.....	20
2.1.3.6.	IEEE 802.11ac.....	20
2.2	Capas del Estándar IEEE 802.11 .....	21
2.2.1	Capa Física.....	22
2.2.1.1	Subcapa PLCP (Physical Layer Convergence Procedure). ....	23
2.2.1.2	Subcapa PMD (Physical Medium Dependent).....	23
2.2.1.3	Tecnologías de la Capa Física IEEE 802.11.....	23
2.2.1.3.1.	<b>Espectro Expandido por Salto de Frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS). ....</b>	<b>24</b>
2.2.1.3.2.	<b>Espectro Expandido por Secuencia Directa (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS).....</b>	<b>25</b>
2.2.1.4.	Tecnología de la Capa Física 802.11n.....	28
2.2.1.4.1.	<b>OFDM (Orthogonal Frequency División Multiplexing). ....</b>	<b>29</b>

2.2.2.	Capa de Enlace de Datos.....	31
2.2.2.1.	Trama de la capa de enlace de datos.....	32
2.2.2.2.	La subcapa de Control Lógico de Enlace (capa LLC).....	34
2.2.2.3.	La subcapa MAC.....	34
2.2.2.4.	Las tramas (frames) del estándar IEEE 802.11. ....	38
2.2.2.5.	Tramas de Administración.....	39
2.3.	WiFi para largas distancias .....	41
2.3.1.	Ajuste de parámetros para WiFi en largas distancias. ....	41
2.3.2.	Consideraciones básicas para un enlace de larga distancia. ....	42
2.3.2.1.	Potencia en los Enlaces para largas distancias. ....	42
Capítulo III.....		48
3.	Espectro Radioeléctrico .....	48
3.1	Gestión del Espectro Radioeléctrico.....	49
3.2.	Comunicaciones Electrónicas. ....	51
3.3	Espectro Electromagnético .....	52
3.3.1	Regiones del Espectro Electromagnético.....	53
3.3.2	Bandas de Frecuencia del Espectro Electromagnético. ....	54
3.3.3.	Transmisión vía Radio. ....	57
3.4.	Onda Electromagnética.....	59
3.5.	Frecuencias de Operación.....	61

3.5.1.	Espectro Licenciado.....	61
3.5.2.	Espectro no Licenciado.....	62
3.6.	Estudio y Análisis del Espectro no Licenciado en el cantón Junín.....	62
3.6.1.	Lugares donde se realizó el estudio del Espectro no licenciado de Junín. ....	63
3.6.1.1.	Equipos Utilizados para el análisis del Espectro. ....	63
3.6.1.2.	Parámetros a considerar en el Analizador de espectro. ....	64
3.6.1.3.	Como realizar una medición del espectro.....	66
3.6.2.	Mediciones del espectro no licenciado de varios sectores de Junín. ....	66
3.6.2.1.	Sitio Aguafría. ....	66
3.6.2.2.	Sitio Andarieles. ....	67
3.6.2.3.	Sitio Montañita. ....	68
3.6.2.4.	Sitio Guayabales.....	69
3.6.2.5.	El Cerro de Junín .....	70
3.6.2.6.	Junín.....	71
3.7.	Análisis de las muestras del espectro radioeléctrico en Junín. ....	73
Capítulo IV	.....	74
4.	Diseño de la Red WiFi de Largo Alcance. ....	74
4.1.	Herramienta de Simulación para perfil topográfico.....	74
4.1.1.	Radio-Mobile .....	74
4.2.	Estudio de los sectores rurales considerados en la Red. ....	75

4.3.	Diseño de la Red WiFi de Largo Alcance .....	79
4.3.1.	Enlace GAD-Loma. ....	81
4.3.2.	Enlace Loma-Aguafría.....	83
4.3.3.	Enlace Loma-Andarieles.....	84
4.3.4.	Enlace GAD-Cerro.....	86
4.3.5.	Enlace Cerro-Montañita.....	87
4.3.6.	Enlace Cerro-Guayabales.....	89
4.4.	Propuesta de equipos para los enlaces .....	90
4.4.1.	Hardware.....	92
4.4.1.1.	Antena.....	92
4.4.1.2.	Placa embebida Alix.....	93
4.4.1.3.	Tarjeta Inalámbrica.....	94
4.4.1.4.	Compact Flash .....	95
4.4.1.5.	Cable Pigtail. ....	96
4.4.1.6.	Caja para exteriores. ....	96
4.4.2.	Voyage. ....	97
4.4.3.	Planos del Diseño de las Torres.....	98
4.4.3.1.	Torres Ventadas.....	99
4.4.3.2.	Montajes de los equipos en la torre. ....	101
4.5.	Seguridad en Comunicaciones Inalámbricas .....	102

4.5.1.	IEEE 802.11 i.....	104
4.5.2.	IEEE 802.1x.....	105
4.5.2.1.	Protocolo de Autenticación EAP.....	106
4.5.2.2.	Protocolo de Encriptación CCMP. ....	108
4.5.3.	Propuesta de Seguridad en la Red WiFi Rural de Junín. ....	109
4.6.	Calidad de Servicio en la Red WiFi Rural de Junín. ....	110
4.6.1.	Propuesta de QoS en la Red WiFi rural de Junín.....	114
4.7.	Planos del Diseño de la Red WiFi Rural de Junín.....	115
4.7.1.	Planos de la red WiFi Rural de Junín.....	115
4.7.2.	Diseño de la Red WiFi Rural de Junín.....	117
4.7.2.1.	Direccionamiento IP de la Red WiFi Rural de Junín. ....	118
4.8.	Presupuesto Referencial de la Red WiFi Rural de Junín. ....	119
4.9.	Cálculo de Propagación en el espacio libre .....	121
4.9.1.	Pérdida de propagación.....	121
4.9.2.	Nivel de recepción de la Potencia en la red WiFi rural de Junín. ....	124
4.9.3.	Margen de los Enlaces de la red WiFi rural de Junín. ....	128
4.9.4.	Primera Zona de Fresnel. ....	130
Capítulo V	.....	133
5.	Simulación del Diseño Mediante Software.....	133
5.1.	Ns2 .....	133

5.1.1.	Modelos de Radio Propagación de Ns2.....	135
5.1.1.1.	Free Space.....	136
5.1.1.2.	Two-Ray Ground.....	137
5.1.1.3.	Shadowing.....	137
5.2	TeNs en Ns2.1b9a.....	140
5.2.1.	Mejora del Simulator de Red Ns2 para largas distancias.....	140
5.2.2.	Características Principales de TeNs.....	141
5.3.	Tracegraph .....	142
5.3.1.	Características principales de Tracegraph.....	143
5.4.	Parametrización del Simulator .....	143
5.4.1	Configuración de parámetros para enlaces de larga distancia.....	144
5.4.1.1.	ACKTimeout.....	144
5.4.1.2.	CTSTimeout .....	147
5.4.1.3.	SlotTime .....	148
5.4.2.	Parametrización previa a la simulación .....	149
5.4.2.1.	Valores MAC utilizados en la simulación.....	149
5.4.2.2.	Configuraciones generales del script .tcl.....	150
5.5	Simulación de los enlaces.....	151
5.5.1	Enlace GAD-Loma.....	151
5.5.1.1	Throughput del enlace GAD-Loma.....	151



5.5.1.1.1.	Throughput en función de la Red.....	152
5.5.1.1.2.	Throughput de la red en función del número de Nodos....	153
5.5.1.1.3.	Throughput Real de la red en función al número de nodos.	153
5.5.1.1.4.	Throughput normalizado de red, en función al número de nodos.	154
5.5.2.	Simulación enlace Loma-Aguafría .....	155
5.5.2.1.	Throughput del enlace Loma-Aguafría. ....	155
5.5.2.1.1.	Throughput en función de la Red.....	155
5.5.2.1.2.	Throughput de la red en función del número de Nodos....	156
5.5.2.1.3.	Throughput Real de la red en función al número de nodos.	156
5.5.2.1.4.	Throughput normalizado de la red en función al número de nodos.	156
5.5.3.	Enlace Loma-Andarieles.....	157
5.5.3.1.	Throughput del enlace Loma-Andarieles. ....	157
5.5.3.1.1.	Throughput en función de la Red.....	158
5.5.3.1.2.	Throughput de la red en función del número de Nodos....	158
5.5.3.1.3.	Throughput Real de la red en función al número de nodos.	158
5.5.3.1.4.	Throughput normalizado de la red en función al número de nodos.	159
5.5.4.	Simulación Enlace GAD-Cerro. ....	159

5.5.4.1.	Throughput del enlace GAD-Cerro. ....	159
5.5.4.1.1.	Throughput en función de la red.....	160
5.5.4.1.2.	Throughput de la red en función del número de Nodos....	160
5.5.4.1.3.	Throughput Real de la red en función al número de nodos.	161
5.5.4.1.4.	Throughput normalizado de la red en función al número de nodos.	161
5.5.5.	Simulación enlace Cerro-Montañita. ....	162
5.5.5.1.	Throughput del enlace Cerro-Montañita. ....	162
5.5.5.1.1.	Throughput en función de la red.....	162
5.5.5.1.2.	Throughput de la red en función del número de Nodos....	163
5.5.5.1.3.	Throughput Real de la red en función al número de nodos.	163
5.5.5.1.4.	Throughput normalizado de la red en función al número de nodos.	163
5.5.6.	Simulación Enlace Cerro-Guayabales. ....	164
5.5.6.1.	Throughput del enlace Cerro-Guayabales .....	164
5.5.6.1.1.	Throughput en función de la red.....	165
5.5.6.1.2.	Throughput de la red en función del número de Nodos....	165
5.5.6.1.3.	Throughput Real de la red en función al número de nodos.	165
5.5.6.1.4.	Throughput normalizado de la red en función al número de nodos.	166

5.6	Análisis de los Resultados Obtenidos .....	166
5.6.1	Análisis de los resultados obtenidos mediante protocolo de transporte TCP. ....	166
5.6.2	Análisis de los resultados obtenidos mediante protocolo de transporte UDP. ....	168
5.7.	Calculo de la Capacidad requerida por la red WiFi rural de Junín. ....	171
5.7.1.	Estimación de la velocidad de transmisión para datos.....	173
5.8.	Cotejamiento de la Capacidad mínima requerida vs el Throughput de la Simulación.	177
Capítulo VI.....		178
6.	Conclusiones y Recomendaciones .....	178
6.1.	Conclusiones .....	178
6.2.	Recomendaciones .....	180
Referencias Bibliográficas .....		182
Anexo A .....		185
Anexo B .....		186
Anexo C .....		187
Anexo D .....		192
Anexo E .....		194
Anexo F.....		202
Anexo G.....		205
Anexo H.....		211

## Índice de Tablas

Tabla 2.1 Grupo de Estándares IEEE 802.11. ....	17
Tabla 2.2 Características principales de FHSS. ....	25
Tabla 2.3 Canales DSSS. ....	26
Tabla 2.4 Características principales de DSSS ....	27
Tabla 2.5 Sub-portadoras en OFDM para los estándares 802.11a/g/n. ....	31
Tabla 3.1 Bandas de Frecuencia para sistemas de Radiocomunicaciones.....	51
Tabla 3.2 Bandas de Frecuencia del espectro electromagnético.....	54
Tabla 3.3 Longitud de ondas de varias frecuencias del espectro radioeléctrico. ....	61
Tabla 3.4 Lugares donde se realizó el estudio del espectro no licenciado. ....	63
Tabla 4.1 Información Geo-referencial de los enlaces. ....	79
Tabla 4.2 Configuración, enlace GAD-Loma, mediante Radio-Mobile.....	81
Tabla 4.3 Configuración, enlace Loma-Aguafría, mediante Radio-Mobile. ....	83
Tabla 4.4 Configuración, enlace Loma-Andarieles, mediante Radio-Mobile. ....	84
Tabla 4.5 Configuración, enlace Loma-Andarieles, mediante Radio-Mobile. ....	86
Tabla 4.6 Configuración, enlace Cerro-Montañita, mediante Radio-Mobile. ....	87
Tabla 4.7 Configuración, enlace Cerro-Montañita, mediante Radio-Mobile. ....	89
Tabla 4.8 Direccionamiento IP de la Red WiFi Rural de Junín.....	119
Tabla 4.9 Presupuesto de implementación de los enlaces WiFi Rurales ....	120
Tabla 4.10 Pérdida básica de transmisión en el espacio libre, enlaces red WiFi Rural.....	124
Tabla 4.11 Características Técnicas de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha .	125

Tabla 4.12 Valores del enlace GAD-Loma, para obtener pérdidas de espacio libre. ....	127
Tabla 4.13 Nivel de la Potencia de recepción de la señal, enlaces de la red WiFi. ....	127
Tabla 4.14 Margen de la señal de los enlaces de la red WiFi Rural de Junín.....	129
Tabla 4.15 Valores para la obtención del radio de Fresnel en la red WiFi.....	132
Tabla 4.16 Valores de Fresnel con el 70% en la Red WiFi Rural de Junín.....	132
Tabla 5.1 Valores Típicos del exponente $\beta$ .....	138
Tabla 5.2 Valores típicos de la desviación de shadowing $\sigma dB$ .....	139
Tabla 5.3 Distribución de los enlaces para la simulación. ....	144
Tabla 5.4 Parámetros MAC relevantes para estándares a, b y g.....	145
Tabla 5.5 Calculo de ACKTimeout modificados para largas distancias. ....	146
Tabla 5.6 Valores de <i>CTSTimeout</i> modificado para largas distancias.....	147
Tabla 5.7 Calculo de SlotTime de los enlaces de la red WiFi. ....	148
Tabla 5.8 Valores MAC calculados, para los enlaces de larga distancia del diseño. ....	149
Tabla 5.9 Configuraciones generales del script.tcl .....	151
Tabla 5.10 Rendimiento de los Enlaces de la Red WiFi Rural de Junín. ....	167
Tabla 5.11 Resultados de Packetdelivaryratio de los enlaces de la red WIFI de Junín.....	169
Tabla 5.12 Distribución de tiempo (60 min) del uso de internet en una zona rural.....	173
Tabla 5.13 Velocidad de transmisión requerida por los usuarios en una hora pico.....	176
Tabla 5.14 Cotejamiento de los valores del Throughput obtenidos en la Simulación vs los requerimientos de velocidad calculados. ....	177

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Ubicación de Junín en Manabí. ....	2
---	---

Figura 2.1 Componentes de la arquitectura IEEE 802.11.....	16
Figura 2.2 Canales de la Banda 2.4 GHz. ....	18
Figura 2.3 Canales del Estándar IEEE 802.11ac. ....	21
Figura 2.4 Comparación del modelo OSI, con las capas del protocolo IEEE 802.11. ....	22
Figura 2.5 Función XOR Espectro Expandido. ....	24
Figura 2.6 Lobulos secundarios de 11 MHz. ....	27
Figura 2.7 Ancho de banda y Separación entre canales banda de 2.4 GHz.....	28
Figura 2.8 Diferencia entre FDM y OFDM. ....	29
Figura 2.9 Comparación entre las modulaciones: Portadora única y OFDM. ....	30
Figura 2.10 Trama de la capa de enlace de datos. ....	33
Figura 2.11 Proceso de acceso al medio RTS/CTS mediante DCF.....	37
Figura 2.12 Nodo Oculto. ....	37
<b>Figura 2.13</b> Potencia en dBm en función de la distancia Km para un radioenlace. ....	43
Figura 2.14 Alineación de un Enlace PtP. ....	47
Figura 3.1 Espectro Electromagnético.....	52
Figura 3.2 División de las Regiones del Espectro Electromagnético .....	53
Figura 3.3 Propagación por onda terrestre por debajo de los 2 MHz. ....	55
Figura 3.4 Propagación por onda espacial (2 a 30 MHz). ....	56
Figura 3.5 Propagación por Línea de vista sobre 30 MHz. ....	56
Figura 3.6 Frecuencia, amplitud, longitud de onda y tiempo .....	60
Figura 3.7 Diagrama de bloque simplificado del Signal Hound.....	64
Figura 3.8 Interfaz de usuario (GUI) del Signal Hound. ....	65
Figura 3.9 Muestra de frecuencia 2.4 GHz Aguafría.....	67

Figura 3.10 Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, Aguafría .....	67
Figura 3.11 Muestra de frecuencia.....	67
Figura 3.12 Muestra de frecuencia.....	67
Figura 3.13 Muestra de frecuencia 2.4 GHz, Andarieles.....	68
Figura 3.14 Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, Andarieles. ....	68
Figura 3.15 Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, Andarieles.....	68
Figura 3.16 Muestra de frecuencia UNNI-III 5 GHz, Andarieles. ....	68
Figura 3.17 Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, Montañita.....	69
Figura 3.18 Muestra de frecuencia 2.4 GHz, Montañita.....	69
Figura 3.19 Muestra de frecuencia UNNI- .....	69
Figura 3.20 Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, Montañita.....	69
Figura 3.21 Muestra de frecuencia 2.4 GHz, Guayabales .....	70
Figura 3.22 Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, Guayabales.....	70
Figura 3.23 Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, Guayabales. ....	70
Figura 3.24 Muestra de frecuencia UNNI-III 5 GHz, Guayabales. ....	70
Figura 3.25 Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, El Cerro.....	71
Figura 3.26 Muestra de frecuencia 2.4 GHz, El Cerro. ....	71
Figura 3.27 Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, El Cerro. ....	71
Figura 3.28 Muestra de frecuencia UNNI-III 5 GHz, El Cerro. ....	71
Figura 3.29 Muestra de frecuencia 2.4 GHz canal 1, Junín.....	72
Figura 3.30 Muestra de frecuencia 2.4 GHz canal 6, Junín.....	72
Figura 3.31 Muestra de frecuencia 2.4 GHz canal 11, Junín.....	72
Figura 3.32 Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, Junín.....	72

Figura 3.33 Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, Junín. ....	72
Figura 3.34 Muestra de frecuencia UNNI-III 5 GHz, Junín. ....	72
Figura 4.1 Ventana Principal de Radio Mobile .....	75
Figura 4.2 Sectores Rurales de Junín.....	75
Figura 4.3 Centros rurales más poblados de Junín. ....	76
Figura 4.4 El Cerro de Junín. ....	77
Figura 4.5 Loma de Junín. ....	77
Figura 4.6 Municipio de Junín.....	78
Figura 4.7 Red Wi-Fi rural de Junín mediante radio Mobile.....	80
Figura 4.8 Red WI-FI mediante Google Earth.....	80
Figura 4.9 Administración de la Red en Radio Mobile. ....	81
Figura 4.10 Perfil topográfico GAD-Loma, mediante Radio- Mobile .....	82
Figura 4.11 Enlace GAD-Loma mediante Google earth. ....	82
Figura 4.12 Perfil topográfico Loma-Aguafría, mediante Radio- Mobile.....	83
Figura 4.13 Vista del Enlace Loma-Aguafría mediante Google Earth. ....	84
Figura 4.14 Perfil topográfico, Loma-Andarieles, mediante Radio- Mobile.....	85
Figura 4.15 Vista del Enlace Loma-Andarieles mediante Google Earth.....	85
Figura 4.16 Perfil topográfico, GAD-Cerro, mediante Radio- Mobile.....	86
Figura 4.17 Vista del Enlace GAD-Cerro mediante Google Earth.....	87
Figura 4.18 Perfil topográfico, Cerro-Montañita, mediante <i>Radio-Mobile</i> .....	88
Figura 4.19 Vista del Enlace Cerro-Montañita mediante Google Earth .....	88
Figura 4.20 Perfil topográfico, Cerro-Guayabales, mediante <i>Radio-Mobile</i> .....	89
Figura 4.21 Vista del Enlace Cerro-Guayabales mediante Google Earth.....	90



Figura 4.22 Antena Hyperlink HG2424G.....	92
Figura 4.23 Enrutador Inalámbrico Alix3d3/ PC Engines.....	94
Figura 4.24 Tarjeta Ubiquiti Atheros XR2 MiniPCI. ....	95
Figura 4.25 Compact Flash.....	95
Figura 4.26 Cable coaxial (Pigtail N macho MMCX macho) .....	96
Figura 4.27 Caja impermeable para exteriores. ....	97
Figura 4.28 Diseño de una Torre tipo Ventada.....	100
Figura 4.29 Esquema Maestro-Repetidor-Esclavo .....	101
Figura 4.30 Fases de Operación del Estándar 802.11 i.....	105
Figura 4.31 Arquitectura de EAP.....	107
Figura 4.32 Arquitectura de 802.1x. ....	108
Figura 4.33 Diseño de la Red WiFi Rural con un servidor de Autenticación. ....	110
Figura 4.34 Diseño de la red Wi-Fi con QoS.....	115
Figura 4.35 Ubicación de los enlaces, en el Mapa Rural de Junín. ....	116
Figura 4.36 Ubicación de los enlaces georeferenciados en Google earth.....	116
Figura 4.37 Diseño de la Red Wi-Fi Rural de Junín.....	117
Figura 4.38 Nivel de la Potencia en la trayectoria de un enlace. ....	124
Figura 4.39 Sensibilidad de recepción tarjeta <i>Atheros</i> RX2. ....	128
Figura 4.40 Primera Zona de Fresnel.....	130
Figura 4.41 Enlace GAD-Loma, realizada en Radio Mobile.....	131
Figura 5.1 Vista simplificada del usuario del NS. ....	134
Figura 5.2 Arquitectura de Ns2.....	135
Figura 5.3 Valores Modelo shadowing (threshold.cc).....	140

Figura 5.4 Valores Modelo shadowing (ns-default.tcl) .....	140
Figura 5.5 Entorno gráfico de TraceGraph. ....	142
Figura 5.6 Comprobación de Instalación Ns2.....	143
Figura 5.7 Ruta del archivo para modificar el ACKTimeout. ....	149
Figura 5.8 Información de la simulación del enlace GAD-Loma.....	152
Figura 5.9 Información de la Simulación red Loma-Aguafría. ....	155
Figura 5.10 Información de la Simulación Loma-Andarieles. ....	157
Figura 5.11 Información de la Simulación, enlace GAD-Cerro. ....	160
Figura 5.12 Información de la simulación, red Cerro-Montañita. ....	162
Figura 5.13 Información de la Simulación Cerro-Guayabales. ....	164
Figura 5.14 Throughput de los Enlaces vs Distancia.....	168
Figura 5.15 Resultados de Packetdeliveryratio en el terminal de Ubuntu. ....	169
Figura 5.16 Paquetes enviados y recibidos mediante protocolo de transporte UDP. ....	170
Figura 5.17 Packet Delivery Ratio de los enlaces de la RED WiFi Rural de Junín. ....	171
Figura 5.18 Lugar de uso de internet por área. ....	172
Figura 5.19 Razones de uso de internet por área. ....	173

## **Capítulo I**

### **1. Introducción y Objetivos.**

#### **1.1. Introducción**

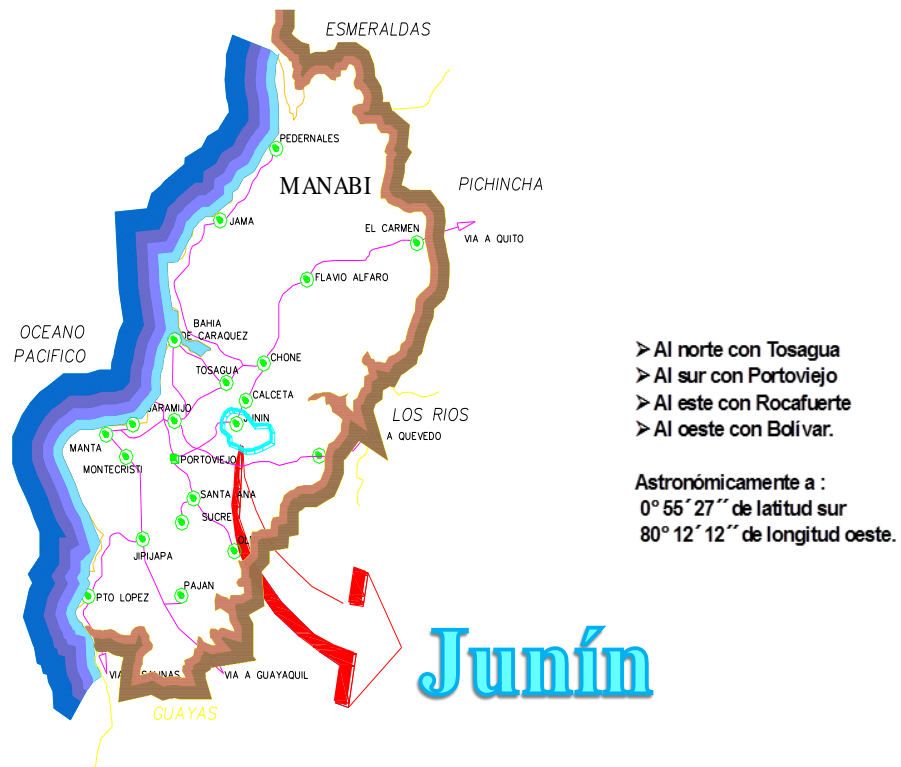
En una época donde la tecnología impone su dominio, muchas naciones invierten en esta herramienta como parte del desarrollo de sus habitantes, considerando que de no hacer uso de ella, sería sumirse en el subdesarrollo.

La República del Ecuador, ha demostrado en los últimos años, un crecimiento en el índice de penetración del internet, gracias a la proactiva política de estado, es tal así que el Ministerio de Telecomunicaciones desarrolló un Plan Nacional de Banda Ancha [1], el cual contempla varios proyectos estratégicos, muchos se han ejecutado, otros están en proceso, logrando en cierta medida disminuir la brecha digital existente con respecto a los países de primer mundo.

Sería un error no mencionar a la empresa privada, en esta encrucijada digital, existen varias en nuestro país, quienes han realizado fuertes inversiones en despliegue de infraestructura a nivel nacional e internacional, quienes invitan al sector público a estar a la vanguardia en Tecnología.

Al igual que en otras países, la mayor demanda del servicio público del internet, es en los sectores urbanos, donde se concentra la mayor población, las principales ciudades ecuatorianas no son las excepciones; pero en las extensas áreas rurales, lugares donde existen pocos habitantes, resulta poco apetecible invertir para la prestación de este servicio público.

La ciudad de Junín está ubicada en el centro norte de la provincia de Manabí, observar la Figura 1.1<sup>1</sup>, con una población de 18.942 habitantes [2], cuya extensión territorial es de 247 Km<sup>2</sup>, de las cuales solo 2,47 Km<sup>2</sup> corresponden a la zona urbana y el restante del territorio es netamente rural.



**Figura 1.1** Ubicación de Junín en Manabí.

En el centro de la ciudad hay una altura promedio de 51 metros sobre el nivel del mar, en el sector más alto de la zona rural comprende 470 metros sobre el nivel del mar.

Con estos antecedentes se deduce que Junín en un 73,8% es zona rural, justo este sector es donde se concentró la investigación, ciudadanos que difícilmente tienen acceso a las Tecnologías de la

<sup>1</sup> Dirección de Planificación, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Junín.

Información y Comunicación, esta es la razón por la cual se realizó este estudio como propuesta para que los centros más poblados de esta área territorial, disponga en el futuro más cercano del servicio de internet.

En la actualidad existen varias organizaciones nacionales de desarrollo rural, hay conciencia global sobre la importancia del acceso a Internet, hasta en las comunidades pequeñas y aisladas. Varias iniciativas institucionales entre las que se encuentra el MINTEL, CNT del sector público, MOVISTAR y Telconet del sector privado, entre otras. En general, los sectores rurales marginados no poseen la infraestructura básica para tener acceso a las redes telefónicas alámbricas, Las alternativas existentes no son muy atractivas. Donde hay facilidades de uso del servicio de telefonía celular el acceso a internet es generalmente lento (y costoso). Son escasos los proyectos de conectividad rural.

En Junín brindan el servicio de telefonía celular los tres proveedores (Claro, Movistar y CNT E.P.) en el casco urbano su cobertura es (3G, 3,5 G y HSPA) respectivamente, lo que nos indica que se puede navegar en internet a mejores velocidades a través de estas tecnologías por supuesto mediante teléfonos inteligentes.

La cobertura de los proveedores de telefonía móvil en los sectores rurales de Junín es mediante la tecnología CDMA y en los sectores más cercanos al nodo del centro de la ciudad utilizan 3G.

En este contexto, esta investigación se convirtió en una herramienta importante para los ciudadanos de estos sectores, ya que el Municipio de Junín tiene la responsabilidad de gestionar

la implementación de esta red WIFI rural, para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, coadyuvando a la disminución de la brecha digital existente.

El tipo más común de tecnología WLAN se conoce como: Fidelidad Inalámbrica (WiFi); sin embargo, WiFi es una de las diversas normas WLAN pero no un sinónimo de éstas. Entre las otras tecnologías WLAN cabe citar Home RF2, HiperLAN2.

WiFi (*Wireless Fidelity*) es un medio eficaz para compartir el acceso inalámbrico a Internet, desde una conexión de banda ancha, hasta una distancia máxima de 300 metros en espacios libres <sup>2</sup> aproximadamente.

En los últimos años esta tecnología también se utilizan cada vez más para proporcionar acceso al internet de banda ancha, para grandes distancias, útil sobre todo en zonas rurales, en países en vía de desarrollo; para ello hay que utilizar equipos con configuraciones especiales con el objetivo de incrementar la distancia efectiva de los puntos de conexión.

El presente trabajo presenta un diseño para el despliegue de una red WiFi de larga distancia, la cual se va a desplegar en el espectro no licenciado del cantón Junín, para permitir el acceso al servicio de internet, el cual abarca los lugares más alejados de la parroquia urbana de Junín.

---

<sup>2</sup> IEEE. (2012). IEEE Standar for Information technology telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks Specific requirements, 802.11 Part 11: 9.8.16 Operation with coverage classes p.971.

## **1.2. Antecedentes**

La Constitución de la República del Ecuador, considera al acceso del servicio de valor agregado de internet como un derecho del buen vivir, y así:

Art. 16.- Todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a:

2. El acceso universal a las tecnologías de información y comunicación.

3. La creación de medios de comunicación social, y al acceso en igualdad de condiciones al uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico para la gestión de estaciones de radio y televisión públicas, privadas y comunitarias, y a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas[3].

El Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) en la sección Gobierno y Democracia Digital, dice:

Art. 362.- Los gobiernos autónomos descentralizados propiciarán el uso masivo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) por parte de los titulares de derechos y los agentes productivos, de la educación, la cultura, la salud y las actividades de desarrollo social, incrementando la eficacia y la eficiencia individual y colectiva del quehacer humano.

Art. 363.- Los gobiernos autónomos descentralizados realizarán procesos para asegurar progresivamente a la comunidad la prestación de servicios electrónicos acordes con el desarrollo de las tecnologías.

Los gobiernos autónomos descentralizados dotarán servicios de banda libre para el uso de redes inalámbricas en espacios públicos [4].

El Ministerio de Telecomunicaciones desarrolló un Plan Nacional de Banda Ancha en el cual incluye un programa llamado: “Despliegue de Infraestructura y Condiciones de Mercado para

Banda Ancha” [5]. El mismo que prevé impulsar la masificación del acceso a servicios de banda ancha, la ampliación de la oferta mediante el despliegue de infraestructura; y, promover el acceso y conectividad al servicio de banda ancha con especial énfasis en las poblaciones sin servicio.

En la zona urbana Junín, los proveedores de internet de banda ancha como CNT y TELCONET, proveen este servicio a través de la Fibra Óptica, a los clientes corporativos; en los hogares existen conexiones ADSL por parte de la empresa del Estado CNT, además de los permisionarios del servicio de valor agregado de Internet quienes brindan el servicio de internet mediante radioenlaces.

Junín, es una ciudad cuya extensión territorial en su mayoría es rural, carece del servicio público de Internet, es difícil acceder a muchas comunidades por su geografía, los proveedores públicos y privados no sienten atractivo para la industria invertir en estos lugares; y, a pesar que estamos en pleno siglo XXI, la brecha digital no ha disminuido en la zona rural.

El contexto social-demográfico es muy generalizado en Ecuador, igual que en otros países. La migración urbana de los últimos años trajo como resultado numerosas ciudades de tamaño mediano, las cuales sirven como centros de negocio e infraestructura. Cerca quedan sus campos y poblaciones pequeñas concentradas dentro de un radio de 20 km de distancia, que antes de la aparición del vehículo representaba un viaje de un día, son equidistantes con baja densidad poblacional. La distancia de un sitio hasta el próximo es de a una o dos horas caminando, con vehículos el tiempo de tránsito es muy reducido, pero los residentes de las zonas rurales todavía sufren un nivel de aislamiento y subdesarrollo evidente.



Debido a su relación coste-eficacia, la tecnología IEEE 802.11 (WiFi) ha tenido un uso extendido más allá de su propósito original, redes en interiores de corto alcance. En el Espectro no licenciado WiFi opera en la banda ICM las cuales están designadas para aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas, al igual que en otros países del mundo, ya está bien establecida. Estas frecuencias han logrado la producción en masa de esta solución de bajo costo. Las redes WiFi empleadas en largas distancias, son conocidas también como Redes WILD (*Wireless Long Distance*).

Las distancias de los centros poblados rurales son característicos de 2 – 10 km, este patrón típico es muy favorable para soluciones del tipo WiFi de largo alcance, son apropiadas para este tipo de recurso tecnológico. La tendencia es que de tres a cinco de los sitios rurales cercanos tienen relaciones sociales y económicas, formando una agrupación natural permitiendo de esta forma aprovechar el punto de acceso de la red WiFi; y por el nivel económico, siempre se requiere una solución de conectividad a muy bajo costo, como ofrece WiFi de largo alcance.

Entonces WiFi (y sus entornos técnicos) nos ofrece dos facilidades básicas: una conexión punto a punto hasta un sitio distante, donde se puede conseguir un enlace a Internet, y la interconexión de un grupo de computadoras y dispositivos inteligentes, hasta un punto central con un aceptable ancho de banda, además; estas configuraciones en términos de la aplicación del WiFi son muy importantes. Se favorece la posibilidad de comunicación no sólo hacia el mundo exterior, sino también dentro de las comunidades.

### **1.3. Justificación**

Los grandes cambios tecnológicos y el despliegue de nuevas redes de telecomunicaciones, combinados con los retos impuestos por los mercados y la creciente demanda de los usuarios finales, han revolucionado las formas de acceder y compartir la información. Estos cambios están ayudando a reducir el costo de los servicios de banda ancha, a disminuir la brecha tecnológica, haciéndolos cada vez más accesibles a todos y cada uno de los ciudadanos de nuestros pueblos, sin importar donde se encuentren y sea su condición social.

Mientras que los países de América Latina han realizado grandes esfuerzos en esta área, aún existen importantes brechas que debemos cerrar en conjunto. Esto lo podemos lograr a través de acciones que busquen garantizar que las TIC's se conviertan en un factor habilitador, que potencie la sociedad inclusiva de la información y el conocimiento.

Las universidades a través de sus estudiantes deben impulsar proyectos que fomenten desarrollo en las diferentes ciudades, coadyuven al progreso y lideren el cambio de la matriz productiva, la misma que se viene planificando en el Gobierno de la República de Ecuador y de esta forma los centros de educación superior se conviertan en entidades generadoras de desarrollo y progreso en la sociedad.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados deben impulsar planes de desarrollo, encaminados a brindar progresivamente a sus ciudadanos el servicio de internet de banda ancha, en espacios públicos; servicios electrónicos acordes con el desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación.

Este tema se justificó, porque la presente investigación realizó un estudio de una solución del acceso al internet a través de las Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación, en sectores hasta ahora olvidados, con difícil acceso, especialmente en la época de invierno.

Los actores principales de esta investigación, en primer lugar la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, porque aportó con el Talento Humano, el desarrollador de la tesis, más una gama de docentes calificados quienes alinearon el presente tema en un proyecto importante, que busca disminuir la brecha digital, que por varios años ha provocado desigualdades en varias ciudades del país, exclusivamente en las áreas rurales y urbanas marginales, privándose de herramientas tecnológicas vigentes, de las tecnologías de la información y comunicación. En segundo lugar el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Junín, quien fue parte de este proyecto, sus administradores estuvieron prestos y al tanto del progreso de la presente solución, además proveyeron la información secundaria para el desarrollo de la tesis y por último los beneficiarios miembros de las comunidades quienes fueron parte importante del presente tema de tesis.

Se Justificó porque la presente investigación alcanzo los objetivos planteados, obteniendo los resultados esperados; estudio importante para que las autoridades del GAD Municipal de Junín, gestionen la implementación este producto, el mismo que una vez ejecutado disminuirá la brecha digital, en los centros más poblados de la zona rural de Junín.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo General.**

Diseñar una red WiFi de largo alcance, a través del espectro no licenciado, para permitir el acceso al servicio de internet de banda ancha, en los sectores más poblados de la zona Rural del Cantón Junín.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

1. Proponer el diseño de la Red WiFi de largo alcance, en los sectores Rurales más poblados de Junín, a las autoridades del GAD Municipal del Cantón Junín.
2. Establecer Compromisos de Cooperación con el Titular del GAD Municipal, para la obtención de información necesaria de Junín, en el desarrollo del diseño.
3. Definir los Sectores de la zona rural, donde se va a desplegar la red WiFi.
4. Estudiar el Estándar IEEE 802.11, para uso en largas distancias.
5. Analizar el espectro no licenciado, del Sector Rural de Junín.
6. Diseñar el despliegue de Infraestructura de la Red WiFi, de acuerdo a la ubicación de los centros más poblados de la zona rural del cantón Junín.
7. Considerar Calidad de Servicio y seguridad, en el diseño de la red WiFi.
8. Demostrar a través de software de simulación, los resultados del diseño de la red WiFi, de los enlaces escogidos.

## Capítulo II

### 2 Fundamento Teórico.

#### 2.1 WiFi

WiFi (*Wireless Fidelity*) por sus siglas en inglés, es una de las tecnologías de comunicación inalámbricas más utilizadas hoy en día en el mundo. Genéricamente las redes inalámbricas son conocidas como WLAN. WiFi es el sistema normalizado para redes inalámbricas basado en las especificaciones 802.11 [6].

Este estándar tubo sus inicios en los años 1993, pero siempre en diferentes fabricantes, luego ellos se reunieron y formaron WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*). Esta alianza de la industria propuso un producto de características homologadas, cuya presencia comercial relevante fue en 1999 con la aparición del estándar 802.11b; más tarde WECA cambio su nombre por WIFI.

WiFi es una tecnología que permite que una gran variedad de equipos informáticos puedan interconectarse sin necesidad de utilizar un medio de transmisión físico. Tiene sus principios en la interconexión de ordenadores y otros dispositivos de oficinas, en espacios reducidos. Permite a los usuarios tener acceso a una red y que puedan utilizar todos los recursos tecnológicos. Existen otros estándares de comunicaciones inalámbricas como: GSM, UMTS, Bluetooth, ZigBee, WIMAX, LTE, otros; cada una de ellas con diferentes velocidades de transmisión y áreas de cobertura.

La utilización de las redes inalámbricas es muy similar a la de una red cableada, por esta razón poco a poco están ocupando un lugar más destacado entre las posibilidades que tienen dos equipos informáticos para intercomunicarse. Las empresas optan por implementar este tipo de solución en muchos casos realizan una combinación de la redes LAN con las WLAN.

La aplicación principal que está teniendo WiFi en la actualidad es la de permitir a los terminales inteligentes de las casas y de las oficinas, es; que puedan compartir el acceso al servicio público del internet, esto se debe a la convergencia que tiene WiFi con el internet ya que ambas utilizan el protocolo TCP/IP por esta razón se interconectan con mucha facilidad.

En la última década la tecnología WIFI se la está aplicando en redes de largo alcance sobre todo en áreas rurales en los países en vía de desarrollo, a pesar que el uso de WIFI para estas distancias no está estandarizado, muchos investigadores han realizados enlaces en decenas de kilómetros y han obtenido buenos resultados.

WiFi se está convirtiendo en una alternativa de comunicación para estos sectores tan importantes pero como siempre olvidados, por ello la presente investigación aportará a la disminución de la brecha digital existente en este país a pesar de los grandes esfuerzos de entidades gubernamentales y de las empresas privadas con razón social, han realizado hasta el momento en este país.

Este tema de tesis se enfocó en el estándar 802.11 parte de la tecnología WIFI, por ser una solución que se desplaza en el espectro radioeléctrico en la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) 902-928 MHz, 2.400-2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz, bandas de frecuencia, cuyo uso

en la legislación ecuatoriana no tiene contemplado costo alguno, es gratuito; los equipos que se usan en esta tecnología de comunicación son de menor costo, con respecto a los equipos que utiliza Wimax, GSM, otros; además los canales de comunicación empleados en la banda ISM, aplicados en este tema de tesis, no están muy congestionados en el cantón Junín, como se demuestra en el capítulo III.

### **2.1.1. Estándar IEEE 802.11.**

La primera generación de dispositivos WLANs (introducidos a fines de los 80's), no fueron muy populares debido a sus bajas velocidades, falta de estándares y preocupación por los costos de las licencias.

El estándar 802.11 fue desarrollado por el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica IEEE, describe las normas a seguir para cualquier fabricante de dispositivos *Wireless*, para que puedan ser interoperables entre sí, dichos empresarios obtienen una certificación, con ello pueden expender sus productos, el mismo que determina su compatibilidad en la utilización en redes WLAN.

El comité IEEE 802.11 y la alianza WiFi trabajaron arduamente para hacer que los equipos inalámbricos sean estandarizados e interoperables, este esfuerzo redundó en la disminución de los costos de los mismos.

Este conjunto de normas que se establecieron con el objetivo de brindar un marco común de trabajo, fue aprobado en el año 1997, y su velocidad inicial para transmitir información, oscilaba entre 1-2 Mbps, se despliega en el espectro radioeléctrico en la frecuencia 2.4 GHz, la

modulación establecida era el Espectro Expandido por Salto de Frecuencia (FHSS) y Espectro Expandido por Secuencia Directa (DSSS), IEEE estableció características en las capas física y de enlace de datos del modelo OSI.

La Norma 802.11 funciona en la banda ISM para la definición del estándar WLAN, es una banda que en la mayoría de los países del mundo es gratuita, dicha banda es uso comercial sin licencia, cuya potencia de transmisión en Ecuador para redes locales inalámbricas es de 100 mW.

El estándar original también definió el protocolo CSMA/CA (Múltiple acceso por detección de portadora evitando colisiones) como método de acceso. Una parte importante de la velocidad de transmisión teórica se utiliza en las necesidades de esta codificación para mejorar la capacidad de transmisión bajo condiciones ambientales diversas, ya que el medio de transmisión no guiado es vulnerable a las condiciones climáticas, lo cual se tradujo en dificultades de interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas.

Para disponer de una red inalámbrica en un área en particular, es necesario un punto de acceso que se conectaría a la red de redes (Internet), y un dispositivo WiFi para conectarse a la red local. El inconveniente que siempre se ha observado es que la cobertura es limitada, es decir, el alcance de las ondas no es infinito sino que se encuentra restringido a un área determinada. Esto suele dar problemas de conectividad ya que no es habitual poder cubrir toda la superficie deseable por lo que se pueden producir pérdidas de conexión.

Entre sus ventajas respecto a otro tipo de redes podemos destacar la relación Coste-Complejidad de WiFi. Las limitaciones de esta solución, impiden probablemente crear una red



que de servicio de calidad a miles de usuarios en cualquier área geográfica. Pero sus ventajas permiten crear una red de ámbito limitado de manera rápida a menor costo.

### **2.1.2. Arquitectura del Estándar IEEE 802.11.**

Un grupo de estaciones, en un área de cobertura llamada BSA (*Basic Service Area*), dentro de la cual viene garantizada la interconexión y viene utilizada una única función de coordinación, forman una BSS. Por función de coordinación se entiende la función lógica que determina cuando una estación perteneciente a la BSS puede transmitir o recibir sobre el medio de comunicación compartido, el aire. El estándar prevé dos funciones de coordinación:

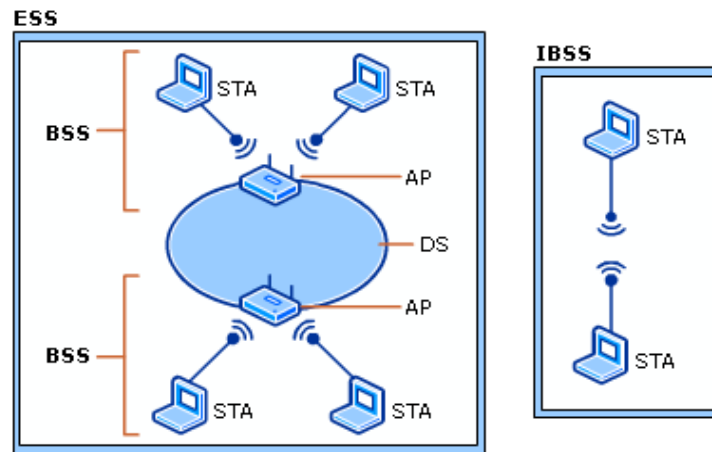
- DCF (*Distributed Coordination Function*), de tipo distribuida;
- PCF (*Point Coordination Function*), que se basa sobre un único nodo de coordinación.

La arquitectura IEEE contiene los siguientes componentes:

- **STA** (*Station*): cualquier dispositivo o terminal que contiene el estándar 802.11.
- **AP** (*Acces Point*): Funciona como un Bridge (puente) y un punto de reenvío.
- **BSS** (*Basic Service Set*): consiste en un número de estaciones (STA) compitiendo por el acceso al medio inalámbrico compartido (incluye necesariamente un AP). Puede estar aislado o conectado a un *backbone DS* (*Distribution system*) mediante un AP (*Acces Point*). Las estaciones clientes no se comunican entre sí directamente.
- **IBSS** (*Independent Basic Service Set*): todas las estaciones (STA) son móviles y sin conexiones a otras (BSSs), estamos frente a una red ad-hoc, las estaciones se comunican entre sí, no tienen un (AP).

- **DS (Distribution System):** Es conocido como el *Backbone*. Para enviar una trama MAC de una estación en un BSS1 a una estación remota en otro BSS (BSS2), la trama primero es enviada al AP local (AP1), y luego a través del DS se envía al AP2 y de ahí a la estación destino.
- **ESS (Extended Service Set):** consiste en dos o más (BSS) Interconectados, por un (DS).

La Figura 2.1 nos muestra los componentes básicos de la arquitectura IEEE 802.11.



**Figura 2.1** Componentes de la arquitectura IEEE 802.11.

### 2.1.3. Grupo de Estándar IEEE 802.11.

El estándar IEEE 802.11 tiene varias versiones desde su creación, cada una de ellas con mejoras en el rendimiento, performance, velocidad, costos; ello ha significado que cada momento más personas y empresas en el mundo, usen más las soluciones inalámbricas, como medio de transmisión de datos, ya que sus velocidades se asemejan a las de una red de medio guiado.

En la Tabla 2.1 se muestran el grupo de estándares correspondientes al grupo IEEE 802.11 con sus principales características.

**Tabla 2.1** Grupo de Estándares IEEE 802.11<sup>3</sup>.

Estándar	Velocidad (teórica)	Velocidad (práctica)	Banda	Ancho de banda	Detalles	Año
			IR		Capa Física: Infrarrojo / MAC	
802.11	2 Mbps	1 Mbps	2.4 GHz	20 MHz	Capa Física : FHSS/ MAC Capa Física: DSSS/ MAC	1997
802.11a	54 Mbps	22 Mbps	5 GHz	20 MHz	Capa Física: OFDM	1999
802.11b	11 Mbps	5.5 Mbps	2,4 GHz	20 MHz	Capa Física: DSSS	1999
802.11g	54 Mbps	22 Mbps	2.4 GHz	20 MHz	Capa Física: DSSS Capa Física: OFDM	2003
802.11n	600 Mbps	100 Mbps	2.4 GHz y 5 GHz	20 y 40 MHz	OFDM/MIMO/ 64 QAM	2009
802.11ac	1.3 Gbps	450 Mbps	5 GHz	80 y 160 MHz	OFDM/MU-MIMO/256 QAM	2013

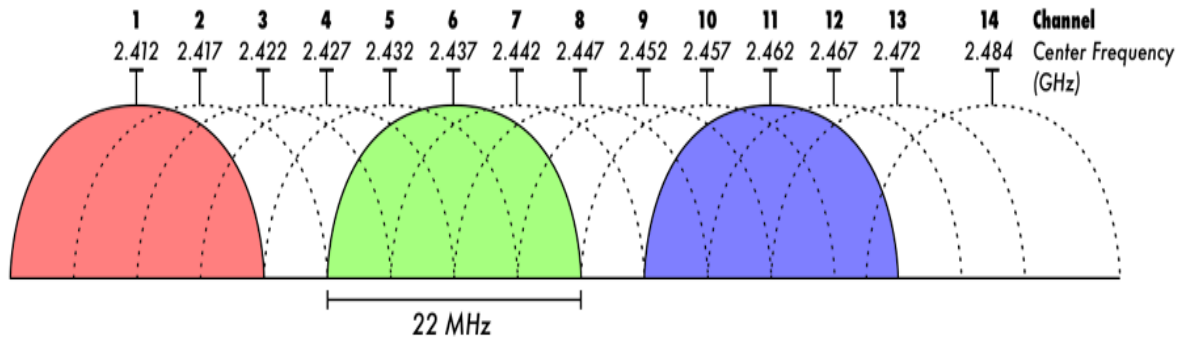
**2.1.3.1. IEEE 802.11.**

Estándar 802.11 (*legacy*) funciona en la banda de 2.4 GHz, con velocidades de transmisión entre 1 Mbps y 2 Mbps, utiliza las modulaciones FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) y DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) en la capa del enlace y DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*) para 1 Mbps, DQPSK (*Diferencial Quadrature Phase Shift Keyin*) para 2 Mbps, ambos en la capa física.

El método de acceso en los canales, es a través del protocolo CSMA/CA (Múltiple acceso por detección de portadora evitando colisiones); el número de canales que definió la IEEE 802.11 es: 14, pero en América específicamente en este país, el número de canales con el cual trabaja este estándar es: 11, cada uno de estos está separado por 5 MHz, entre canales, el ancho de banda,

<sup>3</sup> IEEE Std 802.11, 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11n, 802.11ac

para los canales establecidos, es de 22 MHz. Tres canales (1, 6, 11), pueden reutilizar su frecuencia por que no se sobrelapan entre sí, como se muestra en la Figura 2.2.



**Figura 2.2** Canales de la Banda 2.4 GHz.

Luego que los usuarios empezaron a utilizar esta tecnología encontraron una barrera, la velocidad de transmisión de los datos, los requerimientos cada vez eran mayores por lo que el IEEE inmediatamente asumió esta observación y creo el estándar 802.11b que se mantiene en la frecuencia 2.4 GHz y el estándar 802.11.a en la frecuencia 5.GHz.

### **2.1.3.2. IEEE 802.11b.**

Este estándar fue ratificado por la IEEE en el año 1999, y es uno de los más utilizado en las redes WLAN. Esta norma extiende el uso del DSSS del 802.11 hasta obtener velocidades máximas de transmisiones de datos 11 Mbps. Utiliza modulación DSSS en la capa de enlace y CCK (*Complementary Code Keying*) en la capa Física. Utiliza el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original, las velocidades de transmisión de datos disponibles son 1, 2, 5.5 y 11 Mbps, funciona en la frecuencia 2.4 GHz.

#### **2.1.3.3. IEEE 802.11a.**

Al igual que el estándar 802.11 b, fue confirmado en el año 1999, hace uso de la frecuencia llamada UNNI (*Unlicensed National Information Infrastructure*):

UNNI-1: 5.15 a 5.25 GHz (para uso en interiores), 4 canales disponibles.

UNNI-2: 5.25 a 5.35 GHz (para uso en interiores y exteriores), 4 canales disponibles.

UNNI-3: 5.725 a 5.825 GHz (para uso en exteriores), 4 canales disponibles.

Las velocidades de transmisión aumentaron notablemente, 6, 9, 12, 18, 36, 48, y 54 Mbps, gracias a la utilización de la Modulación OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) cada canal está compuesto con 52 subportadoras (48 para transmitir datos y las 4 restantes se utilizan para monitoreo).

La banda de frecuencia en la cual se despliega es la de 5 GHz, tiene 12 canales ( de 20 MHz), tuvo un poco de resistencia pues era incompatible con el estándar 802.11b, además los equipos que utilizaba tenían mayor costo.

#### **2.1.3.4. IEEE 802.11g.**

Estándar confirmado en el año 2003, ofrece unas velocidades de transmisión mayores a 20 Mbps, hasta 54 Mbps, igual que el estándar 802.11a. La banda de frecuencia en la que trabaja es la 2.4 GHz, promueve la compatibilidad con 802.11 y 802.11b, especificando la misma modulación y

esquemas para entramado en 1, 2, 5.5 y 11 Mbps. Para tasas de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps adopta la modulación utilizada por 802.11a, es la DSSS y OFDM.

#### **2.1.3.5. IEEE 802.11n.**

A inicios del año 2004, la IEEE formó un grupo de trabajo para investigar y crear un nuevo estándar con mayor velocidad de transmisión en las redes WLAN, con un objetivo inicial de 100 Mbps. Con la incursión de la tecnología MIMO (*Multiple-Input/Multiple-Output*), el consorcio EWC (*Enhanced Wireless Consortium*), trabajó en esta línea y obtuvieron altas velocidades en las mejores condiciones, luego en el año 2009 se ratificó esta norma.

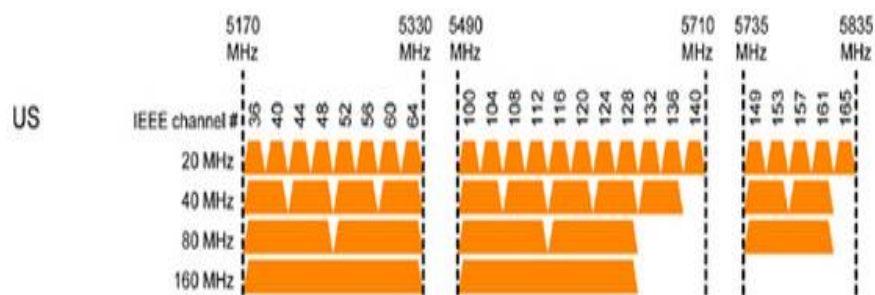
La técnica MIMO se introdujo en este estándar, para mejorar la calidad de transmisión, así como la eficiencia espectral del sistema. IEEE 802.11n capa física, soporta velocidad de datos de hasta 600 Mbps en la configuración MIMO 4x4 con un ancho de banda de 40 MHz.

La familia del estándar 802.11 (802.11 b, 802.11 a, 802.11g y 802.11 n) más conocido como WIFI, en la legislación Ecuatoriana la banda ICM, son frecuencias de uso sin licenciamiento.

#### **2.1.3.6 IEEE 802.11ac.**

Luego de alcanzar mayores velocidades de transmisión con la implementación del estándar 802.11n; IEEE, continuo con las investigaciones y en el 2009 formó un grupo de trabajo (*TASK GROUP AC*), para mejorar el rendimiento en la transmisión de datos de las redes WIFI.

El estándar 802.11ac aprobado en el 2013 por la IEEE, conocido como la quinta generación de la tecnología WIFI, o Gigabit WIFI, o 5G WIFI; se lo reconoce así, porque estándar alcanza, Muy Alto Rendimiento, VHT (*Very High Throughput*) [7], con aumentos en los anchos de banda de los canales, que comprenden 80 MHz y 160 MHz, incluido los 20 y 40 MHz considerados en el 802.11n, la Figura 2.3 muestra los canales de la frecuencia 5GHz para 802.11ac.



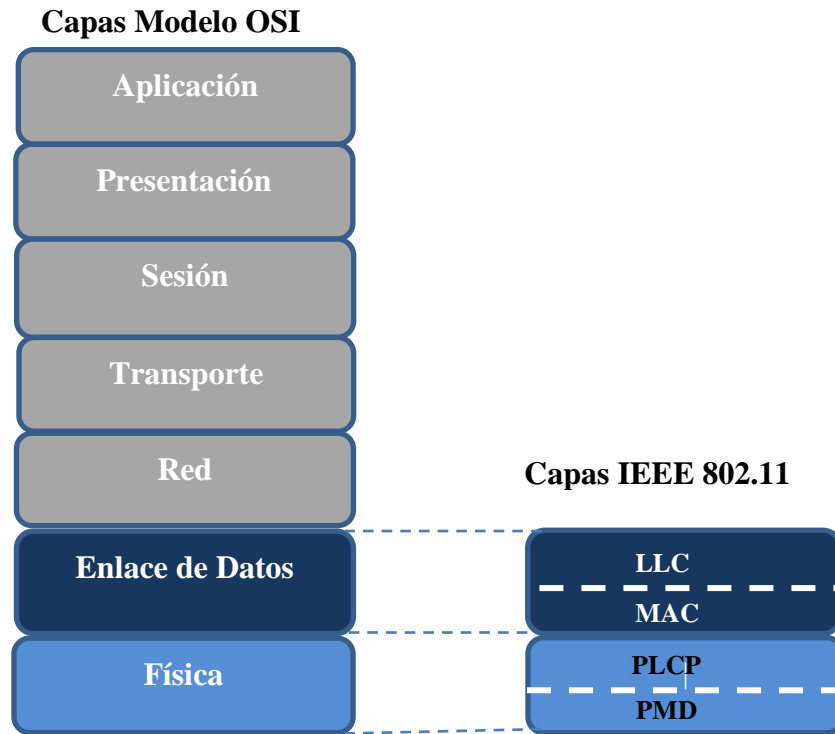
**Figura 2.3** Canales del Estándar IEEE 802.11ac.

## 2.2 Capas del Estándar IEEE 802.11

El Estándar IEEE 802.11 es un protocolo que define el uso de los niveles más bajos de la arquitectura OSI (Capa Física y la Capa de Enlace de Datos), estas determinan el funcionamiento de las comunicaciones inalámbricas.

- La capa Física (“PHY”), está compuesta por dos subcapas: PLCP (*Physical Layer Convergence Procedure*) y PMD (*Physical Medium Dependent*); este estándar ofrece tres tipos de codificación de Información. (IF, FHSS y DSSS).

- La capa de enlace de datos, está compuesta por dos subcapas: (LLC, MAC) control lógico del enlace y control de acceso al medio respectivamente; la Figura 2.5 explica lo indicado.



**Figura 2.4** Comparación del modelo OSI, con las capas del protocolo IEEE 802.11.

### 2.2.1 Capa Física.

Es la capa que determina las funciones de detección de portadora, transmisión y recepción, define métodos, técnicas de adaptación al medio inalámbrico como (modulación, codificación, otros), procesos relevantes para el funcionamiento de la subcapa MAC.

La capa física 802.11 está dividida en dos subcapas:



#### ***2.2.1.1 Subcapa PLCP (Physical Layer Convergence Procedure).***

Define un método para transformar o asociar los PDUs de la MAC a un formato adecuado para la transmisión y recepción de datos entre estaciones que utilizan una capa PMD asociada.

PLCP agrega campos a los MPDUs (*MAC Protocol Data Units*), requeridos para los transmisores y receptores, existen PLCPs específicas, así para DSSS, FSSS e IR.

#### ***2.2.1.2 Subcapa PMD (Physical Medium Dependent).***

Define las características y método de transmitir/recibir datos del usuario utilizando en medio inalámbrico. Bajo la dirección del PLCP realiza la transmisión/recepción propiamente dicha.

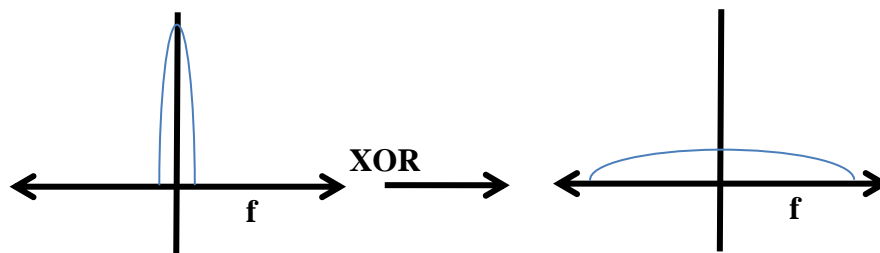
Interactúa con el medio inalámbrico y realiza la modulación y demodulación.

Otra función relevante de la capa Física es la implementación de la función *Clear Channel Assessment* (CCA) que le permite determinar a la subcapa MAC cuando el canal está libre, para ejecutar el mecanismo de acceso al medio.

#### ***2.2.1.3 Tecnologías de la Capa Física IEEE 802.11.***

La capa física de la especificación IEEE 802.11 ofrece dos tipos de técnicas para las transmisiones en frecuencias de radio y una especificación para transmisiones infrarrojas.

Las técnicas de radio frecuencia, trabajan basadas en el concepto de “Espectro Expandido” o *Spread Spectrum* (SS), por sus siglas en ingles. Este concepto se basa en un ensanchamiento del espectro de ancho de banda, usando una función XOR con una secuencia numérica pseudorandómica larga, esto disminuye la densidad de potencia espectral y reduce la potencia pico. La potencia total transmitida no varía, pero la señal se hace más inmune a las interferencias y al ruido. La Figura 2.5 muestra el ensanchamiento del espectro, mediante la función XOR.



**Figura 2.5** Función XOR Espectro Expandido.

Las dos técnicas de espectro expandido, utilizadas en la norma 802.11 son:

**2.2.1.3.1.** *Espectro Expandido por Salto de Frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS).*

Es la forma más simple de modulación de espectro expandido, normalmente la mayoría de los sistemas de salto de frecuencia definen un conjunto de saltos uniformes dentro de una banda de frecuencia aunque esto no es absolutamente necesario ya que ambos extremos de la transmisión conocen de antemano el patrón de salto de frecuencias utilizado. Esta técnica consigue una alta inmunidad a las interferencias y al ruido ambiente, sobre todo cuando usa patrones aleatorios de salto de frecuencia.

Esta técnica funciona en la banda ISM en la frecuencia de 2.4 GHz, opera en velocidades de 1 y 2 Mbps. Sus canales de 1 MHz, el canal 0 iniciaba en 2.4 GHz (frecuencia central), canal 1 en 2.401 GHz, y así hasta el canal 83 en 2.483 GHz, estos permiten definir secuencias de saltos que no se solapan entre sí.

La modulación que utiliza FHSS es FSK Gaussiana (FHSS) de dos niveles para la transmisión de 1 Mbps 0s y 1s se codifican como desviaciones de la frecuencia actual de la portadora y para 2 Mbps existen cuatro desviaciones diferentes de la frecuencia central definen las 4 combinaciones de 2 bits.

**Tabla 2.2** Características principales de FHSS<sup>4</sup>.

Tasa de transmisión	Modulación	Tasa de símbolo	Bits/Símbolo
1 Mbps	2 niveles GFSK	1 msps	1
2 Mbps	4 niveles GFSK	1 msps	2

#### 2.2.1.3.2. *Espectro Expandido por Secuencia Directa (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS).*

Transmite datos en la banda 2.4 GHz, su velocidad de transmisión va desde 1 a 2 Mbps, al igual que en la mayoría de los países no requiere licenciamiento; tiene definido 14 canales; inicia en 2.412 GHz (canal 1) frecuencia central, , 2.417 GHz (canal 2), hasta llegar al canal 14 (2.4835 GHz), cada canal tiene una separación de 5 MHz.

El número de canales disponibles depende de las regulaciones permitidas, en Ecuador al igual que en Norte América solo se utiliza hasta el canal 11, como se lo demuestra en la Tabla 2.3<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> W. Stallings, “Wireless Communications and networks”, 2nd Edition, Prentice Hall, 2005.

**Tabla 2.3** Canales DSSS.

Canales	Frecuencias Centrales (GHz)	Norte América	Europa	España	Francia	Japón
1	2.412	x	x			
2	2.417	x	x			
3	2.422	x	x			
4	2.427	x	x			
5	2.432	x	x			
6	2.437	x	x			
7	2.442	x	x			
8	2.447	x	x			
9	2.452	x	x			
10	2.457	x	x	x	x	
11	2.462	x	x	x	x	
12	2.467		x		x	
13	2.472		x		x	
14	2.477					x

La técnica de Secuencia Directa usa un (*chipping code*) o secuencia de pseudoruido (*pseudorandom noise codes, PN codes*), generado localmente para codificar la señal digital a transmitir. Este código se ejecuta a frecuencias más altas que la frecuencia de la señal.

IEEE 802.11 DSSS, utiliza una secuencia de *BarKer* (tiene buenas propiedades de autocorrelación) de 11 chips.

Un 1 lógico está representado por: {+ - + + - + + - -}

Un 0 lógico está representado por: {- + - - + - - + +}

Es necesario compensar el ruido que se introduce en cada canal debido a su ancho de banda, para ello cada bit de datos se convierte en una serie de patrones de bits redundantes. La redundancia

<sup>5</sup> W. Stallings, “Wireless Communications and networks”, 2nd Edition, Prentice Hall, 2005.

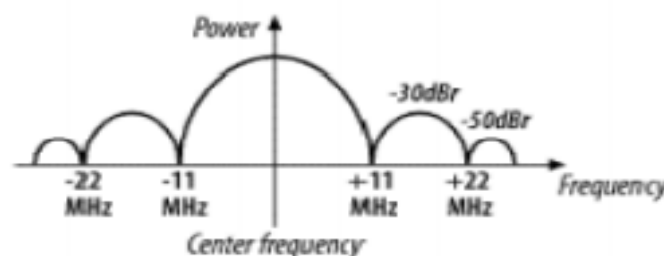
que presenta cada chip combinado con el ensanchamiento de la señal a través de los 22 MHz provee un mecanismo solido de detección y corrección de errores, minimizando las retransmisiones.

La modulación que utiliza la capa física mediante Secuencia Directa es DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*) para velocidad de transmisión nominal de 1 Mbps. Para el caso de transmisión de 2 Mbps se utiliza DQPSK. La Tabla 2.4 nos presenta una relación de las características principales de DSSS.

**Tabla 2.4** Características principales de DSSS

Tasa de transmisión	Chipping code lenght	Modulación	Tasa de símbolo	Bits/Símbolo
1 Mbps	11 (Barker sequence)	DBPSK	1 Msps	1
2 Mbps	11 (Barker sequence)	DQPSK	1 Msps	2

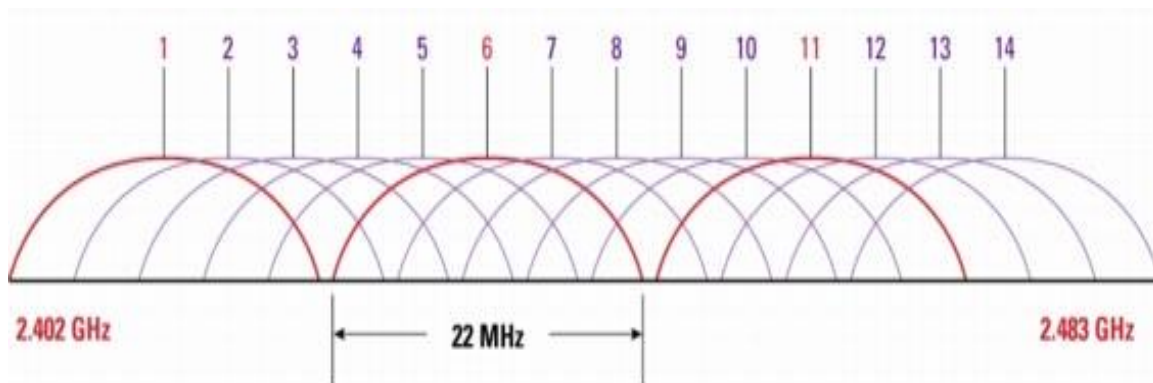
Dentro de cada canal la mayoría de la energía se expande, con un reloj para los chips de 11 MHz, dicha expansión se realiza desde el centro del canal en múltiplos de 11 MHz. Para prevenir interferencia en canales adyacentes, se filtran los lóbulos secundarios, como se muestra en la Figura 2.6.



**Figura 2.6** Lobulos secundarios de 11 MHz.

Para prevenir interferencias con redes trabajando con canales adyacentes, se los debe separar al menos 22 MHz, entre las frecuencias centrales de los canales, con una separación de 5 MHz entre canales y cada red debe estar separada cada 5 canales, en la Figura 28 se ilustra lo indicado.

Este tipo de modulación es exigida por la FCC de los EEUU y por la mayoría de las entidades de regulación de los países de Sudamérica, para utilizar las bandas de frecuencias libres llamadas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) que operan entre los 2.400 GHz y los 2.483 GHz, es necesario un ancho de banda de alrededor de 22 MHz.



**Figura 2.7** Ancho de banda y Separación entre canales banda de 2.4 GHz

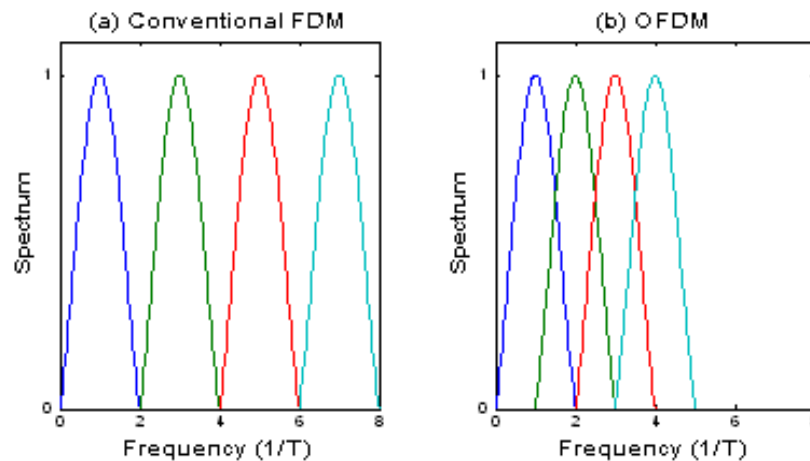
#### **2.2.1.4. Tecnología de la Capa Física 802.11n.**

Como hemos visto la tecnología usada por los estándares 802.11 y 802.11b es DSSS y FHSS, esta permitían ensanchar el espectro y obtener velocidades de transmisión de 1,2 Mbps (802.11) y 1, 2, 5.5 y 11 Mbps (802.11b).

Los estándares 802.11a/g/n, utilizan el multiplexado por división de frecuencia ortogonal (OFDM), técnica que mejora el rendimiento en la transmisión de datos.

En la FDM convencional la separación entre subportadoras adyacentes es de  $2/T$ , mientras que en OFDM la separación es de  $1/T$ , que es el mínimo para que las subportadoras adyacentes sean

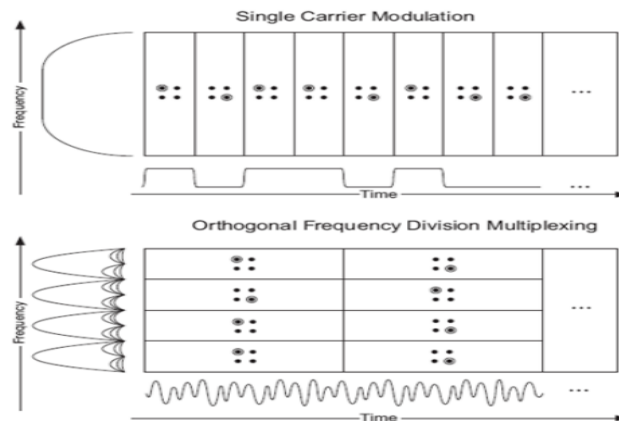
ortogonales. Como se puede observar en la Figura 2.9 muestra la comparación del espaciado entre subportadoras en los casos de FDM y OFDM, en OFDM el espectro de estas se superpone, por lo que mejora la eficiencia espectral.



**Figura 2.8** Diferencia entre FDM y OFDM.

#### 2.2.1.4.1. OFDM (*Orthogonal Frequency División Multiplexing*).

El estándar IEEE 802.11n basó su desarrollo en la estructura de la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), del estándar IEEE 802.11a, esta técnica divide un canal de comunicaciones en una cierta cantidad de bandas de frecuencia que se encuentran separadas por el mismo espacio. OFDM utiliza múltiples sub-portadoras, con un total de 52, demostrando diferencia con una modulación simple de portadora, la Figura 2.10 demuestra una comparación ilustrativa entre estos tipos de multiplexaciones. Los datos se transmiten en las 48 sub-portadoras simultáneamente, cada sub-portadora transporta una porción de los datos del usuario, mientras que las restantes se utilizan para alinear las frecuencias en el receptor. Las subportadoras son ortogonales (independientes) entre sí.



**Figura 2.9** Comparación entre las modulaciones: Portadora única y OFDM.

La utilización de OFDM resulta imprescindible si tenemos en cuenta que es tolerante con los errores de sincronización de tiempo, muy común en sistemas de intercambio de elevadas transmisiones de datos.

Para 802.11a, el tiempo de símbolo es de 4ms (incluyendo los 800ns de intervalo de guarda). Por tanto, para 54 Mbps cada uno de estos símbolos lleva 216 bits de información y 72 bits de corrección de errores repartidos dentro de las 48 subportadoras de datos disponibles.

En 802.11n, se mantiene estos 4ms de tiempo de símbolo pero el número de sub-portadoras para cada canal de 20 MHz aumenta a 56, incrementando la tasa de datos máxima de 54 a 65 Mbps para una transmisión de radio. Es importante indicar que 52 sub-portadoras se usan para transmisión de datos las restantes cumplen con la función de monitorear la Interferencia entre Portadoras (ICI), conocidas como sub-portadoras pilotos.

La Tabla 2.5 visualiza claramente la distribución de las sub-portadoras OFDM de acuerdo a los estándares 802.11a/g/n.



**Tabla 2.5** Sub-portadoras en OFDM para los estándares 802.11a/g/n.

Sub-portadoras	Usables	Pilotos	Estándar	Ancho de Banda (MHz)
52	48	4	802.11 a/g	20
56	52	4	802.11n	20
114	108	6	802.11n	40

El tiempo para transmitir cada bit se incrementa en proporción a la cantidad de portadoras. Esto hace al sistema menos sensible a la interferencia multitrayecto, una fuente importante de distorsión.

El rendimiento de transmisión de datos que se puede lograr con la modulación OFDM depende de los siguientes parámetros:

- Número de señales portadoras: Considerando 802.11 a/g utilizan 48 señales portadoras, 802.11n puede utilizar un máximo de 52 cuando se refiere a un canal de 20 MHz.
- Velocidad de datos del *payload*: La velocidad de datos del *payload*, indica la relación entre el ancho de banda teóricamente disponible y la carga útil real. 802.11a/g puede operar a velocidades de *payload* de  $\frac{1}{2}$  o  $\frac{3}{4}$ , mientras que 802.11n puede utilizar hasta  $\frac{5}{6}$  del ancho de banda teóricamente disponible para los datos de carga útil.

### 2.2.2. Capa de Enlace de Datos.

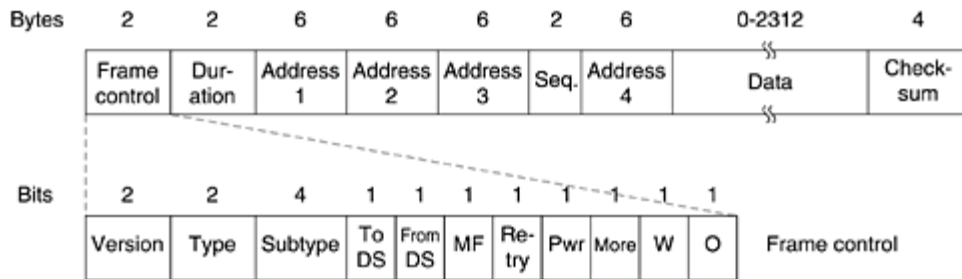
La capa de enlace de datos proporciona un medio para intercambiar datos a través de medios locales comunes. La capa de enlace de datos realiza dos servicios básicos:

- Determina cómo los bits de la capa física se agrupan en tramas (*framing*).
- Controla cómo los datos se ubican en los medios y son recibidos usando técnicas como control de acceso a los medios y detección de errores.
- Realiza la dirección general de capa de enlace.
- Proporciona una interfaz de servicio bien definido para la capa de red.

#### **2.2.2.1. Trama de la capa de enlace de datos.**

El estándar 802.11 define tres clases diferentes de tramas: datos, control y administración. Cada uno de estos tiene una cabecera con una variedad de campos usados con la subcapa MAC.

Esta a su vez tiene 11 subcampos según podemos ver en la Figura 2.10. El primero de estos es la versión de protocolo, el cual permite dos tipos de protocolo para operar en el mismo tiempo y en la misma celda. Después viene el TYPE (dato, control, administración) y campo SUBTYPE que identifica los subtipos de tramas dentro de cada tipo de trama (usualmente *RTS*, *CTS*, *ACK*), luego tenemos TO DS o FROM DS indicando que la trama está yendo o viniendo de un sistema de distribución intercelda. El bit MF significa que está fragmentado, si está activo hay más fragmentos que le siguen. El bit *Retry*, marca una retransmisión de una trama enviada tempranamente. El bit Pwr es usado por la estación base para poner al receptor en modo (*sleep*) dormir o sacarlo de este estado. El bit More indica al transmisor que tiene tramas adicionales del receptor. El bit W especifica que el cuerpo de la trama ha sido encriptado usando el algoritmo WEP (privacidad equivalente a cableado). Finalmente el bit O dice al receptor que una secuencia de trama con este bit debe estar procesado estrictamente en orden.



**Figura 2.10** Trama de la capa de enlace de datos.

El segundo campo de la trama (*DURATION*) de datos es la duración del campo, dice cuan larga es la trama. La cabecera de la trama contiene cuatro direcciones, que representan el Access Point Destino (Address1), Access Point Origen (Address2), Nodo Destino (Address3) y el Nodo Origen (Address4), todas en el formato del estándar IEEE 802.11, las cuales son utilizadas y completadas, según sea necesario por el tipo de conexión establecida.

La secuencia (SEQ) de campo permite a los fragmentos ser numerados. De los 16 bits disponibles de la cabecera o *Frame Control*, 12 identifican la trama, y 4 identifican el número de fragmentación y re-ensamblado. El campo de datos contiene la información enviada, hasta 2312 bytes, seguido por el. (*Check-sum*).

Las tramas de administración tienen un formato similar a las tramas de dato, excepto sin una dirección de la estación base. La trama de control es todavía pequeña, teniendo únicamente una o dos direcciones, sin campo de dato, y sin campo de secuencia.

### La capa de enlace de datos se divide en dos subcapas:

- Capa de Control lógico de Enlace, o *Logical Link Control* (LLC)
- Capa de Control de Acceso al Medio o *Media Access Control* (MAC)

#### **2.2.2.2.    *La subcapa de Control Lógico de Enlace (capa LLC).***

Esta capa es exactamente igual a la capa LLC utilizada por las redes cableadas del tipo 802.3 con un sistema de direccionamiento de 48 bits idéntico (*MAC Address*).

Esto permite simplificar al extremo los puentes (*bridges*) entre los dos tipos de red.

#### **2.2.2.3.    *La subcapa MAC.***

La subcapa MAC cubre con áreas funcionales:

- **Entrega confiable de datos.**

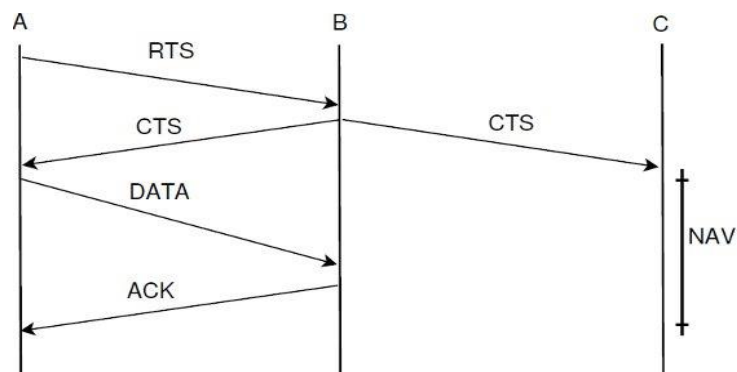
Una WLAN siempre está expuesta a ruido, interferencia, y otros efectos de propagación que puede ocasionar un gran número de tramas perdidas. Es más eficiente manejar errores en la capa MAC.

Para disminuir la probabilidad de colisiones, producto de que dos nodos no puedan escucharse, a más de censar el canal físicamente, el estándar implementa un mecanismo de censado virtual de portadora, usando los tiempos del NAV (*Network Allocation Vector*) basado en RTS, CTS, DATOS, ACK.

#### **MAC evitando Colisiones**

Para mejorar la confiabilidad, MAC utiliza el protocolo basado en el intercambio de 4 tramas de control, a continuación se detallan:

1. **Trama RTS (*Request To Send*):** El transmisor envía una trama RTS al receptor; la trama RTS incluye un campo que indica cuanto tiempo el transmisor desea controlar el medio (o especifica la longitud de la trama de datos a transmitir); a ese tiempo como información de reservación, quienes escuchan la trama almacenan localmente este valor en un “vector de asignación de red” o NAV (Network Allocation Vector), que se maneja como un temporizador decreciente.
2. **Tramas CTS (*Clear To Send*):** El receptor responde con una trama CTS, dicha trama incluye también el tiempo que tomará la transmisión de la trama de dato, cualquier nodo que vea la trama CTS sabe que está cerca el receptor y que no puede transmitir por el tiempo necesario para enviar la trama del tamaño especificado.
3. **Trama ACK:** implementan la función de confirmación de recepción de tramas de datos sin error. El receptor envía un ACK al transmisor luego de recibir la trama de datos exitosamente, los demás nodos deben de estar atentos por este ACK para poder intentar transmitir, si el transmisor no recibe el ACK dentro de un periodo de tiempo preestablecido seguro porque la trama fue dañada, o el ACK fue dañado, en ese caso el transmisor retransmite la trama. La Figura 2.11 nos muestra el proceso de transmisión de una trama de datos, mediante el control de acceso al medio MAC.



**Figura 2.11** Proceso de transmisión de datos mediante MAC.

4. **Tramas de Datos:** Son las tramas que transportan la información entre los nodos y los AP.

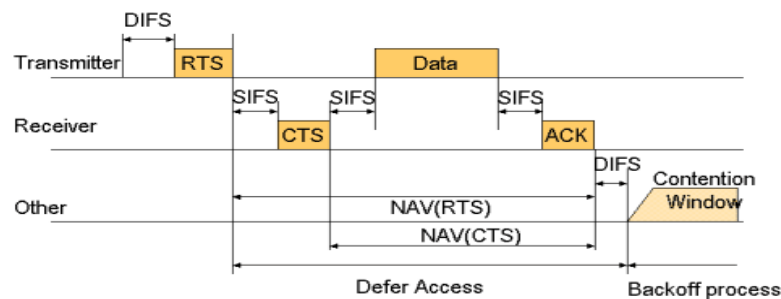
- **Control de acceso al medio**

El método de acceso múltiple en IEEE 802.11 es la llamada Función de Distribución Coordinada (*Distributed Coordination Function*, DCF) que utiliza el conocido método de contención para el Acceso Múltiple por Censado de Portadora con Prevención de Colisiones, (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance*, CSMA/CA).

Este método requiere que cada nodo inalámbrico escuche el medio compartido para saber si otros nodos se encuentran transmitiendo. Si el canal está desocupado, el nodo puede transmitir, caso contrario, el nodo escucha hasta que la transmisión en curso termine, y entra en un período de espera aleatorio para luego volver a ejecutar el procedimiento. Una combinación de mecanismos de censado físico y virtual permite determinar si el medio está libre u ocupado. Esto previene que algunas estaciones monopolicen el canal.

La recepción de los paquetes en el DCF requiere de confirmaciones por parte del destino. Hay un corto período de tiempo entre el envío del ACK por parte del destinatario llamado *Short Inter Frame Space* (SIFS). En 802.11, los paquetes de confirmación ACK tiene prioridad frente a cualquier otro tráfico, logrando una de las características sobresalientes que es la gran velocidad de las confirmaciones, hay que indicar que un SIFS es un pequeño tiempo de retardo en la transmisión.

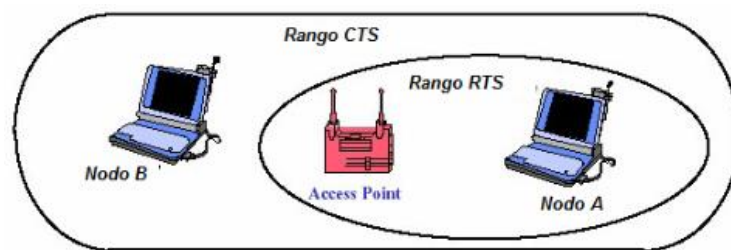
Cualquier transmisión distinta a un ACK deberá esperar por lo menos un DIFS (*DCF Inter Frame Space*) antes de transmitir algún dato. Si el transmisor detecta un medio ocupado nuevamente, vuelve al tiempo de *BackOff* pero reduciendo el tiempo de espera. Así se repetirá hasta que el tiempo de espera llegue a CERO donde se habilita al nodo a transmitir, luego de que termine la próxima transmisión. La Figura 2.12 muestra el procedimiento que se realiza cuando un nodo está transmitiendo en el medio.



**Figura 2.11** Proceso de acceso al medio RTS/CTS mediante DCF

Este método es similar al utilizado en el protocolo Ethernet 802.3 y supone que todos los nodos escuchan simultáneamente el canal. Esto no es siempre cierto en un canal inalámbrico, donde se puede dar el caso del nodo oculto.

Veamos el siguiente caso, los nodos A y B están dentro del rango del Access Point pero el Nodo B no sabe que existe el Nodo A porque está fuera de su rango y por lo tanto no puede saber si está transmitiendo o no.



**Figura 2.12** Nodo Oculto.

Esto se resuelve usando un segundo método de censado de portadora llamado Censado Virtual de Portadora (*Virtual Carrier Sense*) que habilita a un nodo a reservar el canal por un determinado período de tiempo usando tramas RTS/CTS.

En la Figura 2.13, el nodo A envía un RTS (*Request To Send*) al Access Point. Este RTS, tiene un campo que especifica el tiempo que solicita la reserva y no es escuchado por el nodo B porque esta fuera del alcance. La información de la reserva es almacenada por los restantes nodos dentro del alcance de A en una base llamada *Network Allocation Vector* (NAV). El AP responde con un CTS que contiene el tiempo asignado para la reserva. El nodo B que recibe el CTS del AP actualiza su tabla NAV de acuerdo a la información suministrada, resolviendo así el problema del nodo oculto.

#### **2.2.2.4. Las tramas (frames) del estándar IEEE 802.11.**

Para analizar el funcionamiento de una WLAN basada en 802.11 debemos comprender los distintos tipos de paquetes que circulan y cuál es su función específica.

En forma general, podemos decir que el estándar 802.11 define una serie de paquetes que son usados por los nodos y los AP para establecer la comunicación y mantener el enlace entre ellos.

Cada trama tiene un campo de control que define la versión del protocolo 802.11, el tipo de trama y algunos indicadores más. Cada trama tiene también la dirección MAC del origen y del destino, el número de secuencia de la trama y una secuencia de redundancia para detección de errores.



#### **2.2.2.5. Tramas de Administración.**

Permiten a los nodos establecer y mantener la comunicación entre ellos. Podemos encontrar los siguientes subtipos:

1. **Tramas de Autenticación:** como ya se ha manifestado, la autenticación es el proceso por el cual un Access Point acepta o rechaza la identidad de un nodo que pretende acceder al medio. El nodo inicia el procedimiento enviando una trama de autenticación, si la autenticación es abierta, el AP simplemente contesta con una trama de respuesta afirmativa o negativa. Si el AP tiene definido el tipo opcional de Autenticación por frase de paso compartida (*Shared Key Authentication*), el AP responde con una trama de respuesta conteniendo una frase de texto. El nodo deberá ahora enviar una versión encriptada de la palabra de paso usando su clave WEP para encriptar. El AP se asegura que el nodo tiene la clave WEP correcta descriptando y comparando la frase de texto con la que envió previamente. Una vez validada la identidad del nodo, el AP envía una trama de respuesta afirmativa al nodo.
2. **Tramas de Desautenticación:** es una trama enviada por un nodo a otro nodo para terminar la conexión segura entre ellos.
3. **Tramas de solicitud de asociación:** la asociación en 802.11 habilita a un AP a disponer de recursos para establecer una conexión con un nodo estación. El nodo estación comienza la solicitud de asociación enviando una trama de este tipo. Esta trama contiene información sobre el nodo estación como las velocidades soportadas y el SSID al cual desea asociarse. El AP evalúa el requerimiento del nodo y si decide aceptar reserva un

espacio de memoria para permitir el intercambio de datos y establece un número de asociación (*Association ID*) para el nodo.

4. **Trama de respuesta de Asociación:** es la trama con el que el AP responde a una solicitud de asociación del tipo 3. La trama contiene información relativa a la asociación en cuestión, como el *Association ID*, las velocidades aceptadas, entre otras.
5. **Tramas de Reasociación:** las tramas de solicitud de reasociación se envían cuando un nodo se mueve y encuentra otro AP con mayor señal (*BeaconSignal*) que el actual al que está asociado. El nuevo AP al recibir esta señal coordina a través del DS (Red cableada probablemente) el envío de los paquetes que pudieran estar pendientes en el viejo AP para transmitirlos al nodo y luego envía una trama de respuesta de reasociación con los nuevos datos de asociación ID y las velocidades aceptadas.
6. **Trama de desasociación:** es una trama que suele enviar un nodo estación cuando desea cancelar la asociación en forma ordenada. Esta trama instruye al AP para que libere la memoria y el Asociación ID relacionado a este nodo.
7. **Trama de balizamiento (*beacon*):** es una trama que el AP envía periódicamente para anunciar su presencia y recabar información tales como el SSID y otros parámetros que le indican al AP si los nodos siguen a su alcance. Los nodos estación permanentemente escanean los canales de radio escuchando los (*beacons*) para establecer a cual AP conviene asociarse.
8. **Tramas de prueba:** las tramas de requerimiento de prueba son los que envían los nodos estación para saber que otras radios están al alcance. Al recibirlos, el otro extremo responde con una trama de respuesta a la prueba conteniendo capacidades, velocidades soportadas, entre otras.

## 2.3. WiFi para largas distancias

### 2.3.1. Ajuste de parámetros para WiFi en largas distancias.

El Estándar IEEE 802.11 desde sus inicios se desarrolló para permitir acceso a redes inalámbricas en distancias cortas, es por ello que varios investigadores y o grupos, han realizado cambios en la aplicación de dicha normativa para mejorar las distancias usando esta tecnología.

Trabajos realizados por grupos como el *Digital Gangetic Plains* (DGP) en India, o el *Technology and Infrastructure for Emerging Regions* (TIER) en Estados Unidos, han demostrado que se pueden realizar enlaces PtP (punto a punto) de varias decenas de kilómetros mediante hardware WiFi, obteniendo prestaciones razonables. Ambas aproximaciones se basan en reemplazar el protocolo CSMA/CA de la subcapa MAC por TDMA. (Surana Sonesh ) sostiene que: “Estas soluciones permiten subsanar fundamentalmente dos problemas: por un lado evitan las ineficiencias inherentes al hecho de usar CSMA/CA en largas distancias, y, por otro, evitar las interferencias internas en un nodo IEEE 802.11 con múltiples interfaces” [8].

Según los investigadores del grupo Enlace Hispano Americano de Salud (EHAS) [9] “TDMA también introduce graves problemas de incompatibilidad con otros dispositivos existentes en el mercado que se basan en WiFi, al modificar completamente con el estándar WiFi basado en CSMA/CA.”

Otros investigadores han realizado sus estudios con el protocolo original CSMA/CA, (Rendon, A., Ludeña, P. & Martinez) aseguran que “se puede enlazar con WiFi a largas distancias siempre que: Se trabaje al máximo de las potencias y ganancias permitidas, además que se

disponga de línea de vista garantizada entre extremos de la comunicación, y no se tenga unos requisitos de capacidad muy elevados.” Además aseguran que “se deben considerar ajustes en el *SlotTime*, el *ACKTimeout* y el (NVA) mecanismo de detección de portadora virtual”; parámetros que permiten implementaciones de enlaces de larga distancia mediante WiFi [10].

En este contexto, la investigación se desarrolló con el protocolo CSMA/CA propuesto por el estándar original, pero aplicando las modificación de los parámetros de la capa MAC (*ACKTimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime*), para transmitir datos en enlaces de largas distancias mediante WiFi. El cálculo de dichos parámetros y su aplicación en la simulación de acuerdo a las distancias se detalla en el Capítulo V.

Además de la modificación de los parámetros de la capa MAC, se deben considerar otros aspectos para que la transmisión de datos en enlaces de larga distancia.

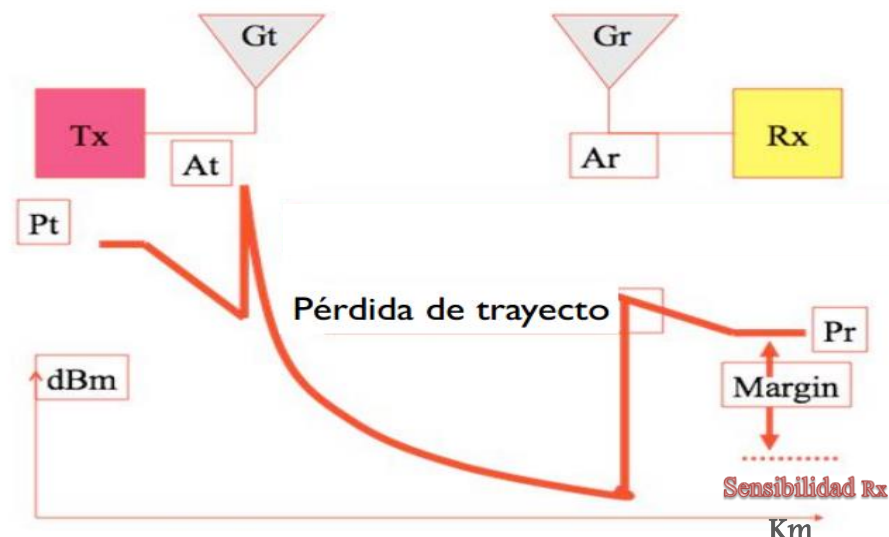
### **2.3.2. Consideraciones básicas para un enlace de larga distancia.**

#### ***2.3.2.1. Potencia en los Enlaces para largas distancias.***

Como se ha manifestado la tecnología WiFi fue diseñada para redes inalámbricas locales, su impacto en los países en desarrollo es mucho más significativo en aplicaciones de larga distancia. Para poder usar esta tecnología es necesario modificar los parámetros de la capa MAC, además se debe tomar en consideración la potencia del enlace.

Aumentar la potencia de transmisión puede llevarnos a violar las normas vigentes, es por ello que hay que realizarlo de acuerdo al rango permitido del PIRE la misma que es determinada en la legislación de cada país.

(EIRP, *Effective Isotropic radiated Power* o Potencia Isotrópica Radiada Efectiva) por sus siglas en inglés, se trata de la potencia equivalente de una señal transmitida de un radiador isotrópico. PIRE es la suma de la potencia del transmisor y la ganancia de la antenna (menos la pérdida de los cables de acoplamiento), se expresa en watts (W). Para que un valor de potencia transmitida  $P_t$ , el PIRE aumenta con la ganancia de la antenna transmisora  $G_t$ .



**Figura 2.13** Potencia en dBm en función de la distancia Km para un radioenlace.

Si observamos la Figura 2.15<sup>6</sup>, muestra la potencia versus la distancia, la trayectoria en un radioenlace, para que una transmisión de información llegue a su destino con un margen adecuado, se deben modificar cualquiera de los siguientes factores:

<sup>6</sup> WNDW. 2013. Redes Inalámbricas en Países en vía de desarrollo, recuperado de <http://wndw.net>

- a. Aumentar la ganancia de las antenas
- b. Disminuir las pérdidas en los cables de antena
- c. Mejorar la sensibilidad del receptor
- d. Alinear las Antenas

#### **a. Ganancia de la Antena**

Aumentar la ganancia de las antenas es, una de las formas más efectiva para mejorar el alcance. Para ello, el requisito más importante es que el radio a utilizar esté dotado de conectores que permitan utilizar una antena externa.

Tres factores son importantes para determinar la ganancia de una antena.

##### **✓ Ancho de Banda**

Es la banda de Frecuencia en la cual el performance de la antena se considera, mientras mayor es el rango de frecuencia que abarca una banda, mayor debe de ser el ancho de banda de la antena.

##### **✓ Ancho del Haz (*beamwidth*)**

Es una medida para describir antenas direccionales, es el ancho total en grados, sobre el lóbulo de radiación principal, medidos en los puntos en los que la potencia radiada ha disminuido 3 dB respecto a la dirección de la línea central del lóbulo.

## ✓ Polarización

Las ondas de radio están compuestas por dos campos: el eléctrico y el magnético, estos campos son perpendiculares entre sí, y la combinación de los dos se la conoce como campo electromagnético.

La polarización viene definida por la trayectoria que describe el vector del campo eléctrico o magnético, cuando se observa en el sentido de propagación de onda.

La posición y dirección del campo eléctrico con referencia a la superficie de la tierra determina la polarización de la onda.

La polarización horizontal: campo eléctrico es paralelo a tierra.

Polarización vertical: el campo eléctrico es perpendicular a la tierra.

Normalmente, dos antenas que forman un enlace deben colocarse para tener la misma polarización, caso contrario sería una polarización cruzada (*Cross--Polarization*).

### **b. Pérdidas en los Cables**

Disminuir las pérdidas en los cables coaxiales de conexión sigue siendo importante, la manera más indicada de conseguirlo es colocar el radio en el exterior cerca de la antena, es decir acoplada a la torre [11], para lo cual se requiere una caja a prueba de intemperie y, posiblemente, suministrar la energía al radio mediante la técnica de PoE (Power over Ethernet o electricidad a través de Ethernet).

Los conectores son parte fundamental de un enlace, al usar los de mejor calidad se asegura menos pérdida de la señal. De igual forma los *pigtails* (cables de pequeña longitud) que van conectados en un extremo en la antena y el otro extremo el radio; suelen ser de tipo N, su longitud varía entre 2m y 20 cm; entre más pequeño y de mejor calidad sea el *pigtail*, menor será las pérdidas por este concepto.

### **c. Sensibilidad del receptor**

Mejorar la sensibilidad del receptor significa escoger un modelo de radio que tenga mejores prestaciones o conformarse con trabajar a velocidades de transmisión más bajas, donde la sensibilidad es mejor.

### **d. Alinear la antena**

La propagación de la señal radiada por la antena se determina de acuerdo al rango de frecuencia, este caso de estudio es sobre los 30 MHz es decir que la alineación se la realizará a través de línea de Vista (*line of sight*, LOS).

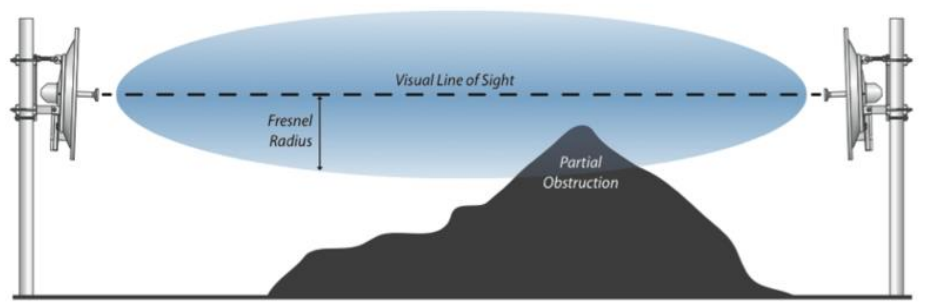
#### **✓ Alineación cuando se puede visualizar el enlace**

Cuando podemos ver el otro extremo del radioenlace, la tarea de alinear las antenas se reduce a constatar que estamos utilizando la misma polarización en ambos extremos y alinear visualmente ambas antenas. Podemos utilizar una herramienta como “*netstumbler*” o su equivalente que mida la intensidad de la señal recibida para un ajuste fino, buscando el punto de recepción máxima. En la actualidad equipos para radioenlaces privativos como *AirFiber* de Ubiquiti o *routerboard* de



Mikrotik en sus firmwares cuentan con aplicaciones para alinear los enlaces. La Figura 2.15 muestra un enlace Punto a Punto con buena línea de vista (LoS).

Para alinear las antenas se requiere dos equipos de trabajo, uno en cada extremo del enlace y dotados de algún medio de comunicación como teléfono celular o radio de dos vías.



**Figura 2.14** Alineación de un Enlace PtP.

#### ✓ **Alineación cuando no se puede visualizar el enlace**

Como este estudio se refiere a enlaces de largas distancias es normal que sea dificultoso alinear las antenas, para ello hay ayudarse con otros métodos y herramientas además de las recomendaciones del párrafo anterior.

El software Radio-Mobile, Google Earth, dispositivos de posicionamiento geográfico GPS, binoculares, brújula, otros.

Además las personas que estén en lo alto de la torre, para la alineación de la antena, es muy importante que posean una preparación en este tipo de trabajos, al igual que se les debe brindar medidas de seguridad correspondientes.

## Capítulo III

### 3. Espectro Radioeléctrico

El Plan Nacional de Frecuencias, en los términos Generales, se define al espectro radioeléctrico como:

Un conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin necesidad de guía artificial utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora y televisión, seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, así como para un elevado número de aplicaciones industriales científicas y médicas [12]

Es el segmento de frecuencias comprendido en el espectro electromagnético, ubicado en el rango de ondas electromagnéticas que van desde los 3 KHz a 3000 GHz.

Dicho de otra forma, el espectro radioeléctrico es una segmento del espectro electromagnético y es precisamente en esa porción en donde operan las emisoras de radio (AM y FM), las de televisión abierta (por aire) y microondas, la telefonía celular, los sistemas satelitales, los radioaficionados, las comunicaciones vía Internet, los radiomensajes (*paggers*), las comunicaciones de aeronaves, buques, transporte terrestre, entre otros servicios de telecomunicaciones.

Las ondas del espectro radioeléctrico se propagan en el espacio, por lo que no se limitan a las fronteras territoriales de cada país; sin embargo, sí encuentra otros límites, como son los tecnológicos, por lo que su regulación y control resultan de gran importancia para su correcto

aprovechamiento. Derivado de lo señalado, el control y gestión del espectro se da principalmente por medio de tratados y/o acuerdos internacionales que fijan los lineamientos que habrán de adoptarse posteriormente al interior de cada país.

Como se desprende de los párrafos anteriores, la necesidad de control internacional para la correcta administración del espectro radioeléctrico, ha propiciado que este se subdivida en bandas de frecuencia, que designan una porción del espectro radioeléctrico y cuya división se realiza atendiendo a criterios técnicos relacionados con los servicios que, por las características propias de la fracción asignada, resultan mayormente viables en determinada banda.

Debido a la multiplicidad de servicios que pueden prestarse por medio del espectro radioeléctrico, su organización y regulación resulta indispensable para permitir el desarrollo del mismo, sobre todo al tratarse, como se señaló anteriormente, de un bien intangible.

### **3.1 Gestión del Espectro Radioeléctrico**

Gestión del espectro radioeléctrico (o de frecuencias) es la combinación de los procedimientos jurídicos, económicos, científicos, administrativos y técnicos; necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de los canales radioeléctricos por las estaciones de los distintos servicios de radiocomunicaciones, en cualquier banda del espectro y en cualquier momento dado, sin producir ni recibir interferencias perjudiciales.

En Ecuador la gestión del espectro radioeléctrico la realizaba el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), en conjunto con la Secretaría Nacional de

Telecomunicaciones (SENATEL), y la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL), entes gubernamentales que fueron absorbidas por la Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones (ARCOTEL), la misma que es adscrita al Ministerio de Telecomunicaciones del Ecuador, quien tiene la responsabilidad de administrar y controlar el uso del espectro radioeléctrico, atribuciones consagradas en la legislación ecuatoriana en concordancia a las normas y tratados internacionales.

Las facultades de gestión, administración y control del espectro electromagnético comprenden, entre otras, las actividades de planeación y coordinación, la fijación del cuadro de frecuencias, la asignación y verificación de frecuencias, el otorgamiento de permisos para su utilización, la protección y defensa del espectro radioeléctrico, la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas, el establecimiento de condiciones técnicas de equipos terminales y redes que utilicen en cualquier forma el espectro radioeléctrico, la detección de irregularidades y perturbaciones, y la adopción de medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico, y a restablecerlo en caso de perturbación o irregularidades.

Además posee la responsabilidad de hacer cumplir la norma para la implementación y operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha.

Las Bandas de Frecuencias permitidas para la operación de Sistemas de radiocomunicaciones que utilizan técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha fueron aprobadas en el art. 6, de la Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, las mismas que se presentan en la Tabla 3.1 [13].

**Tabla 3.1** Bandas de Frecuencia para sistemas de Radiocomunicaciones..

<b>1</b>	902-928
<b>2</b>	2400-2483,5
<b>3</b>	5150-5250
<b>4</b>	5250-5350
<b>5</b>	5470-5725
<b>6</b>	5725-5850

---

### **3.2. Comunicaciones Electrónicas.**

Es una forma avanzada de comunicación utilizando las más sofisticadas tecnologías. Consiste en el transporte de señales a través de redes de comunicaciones electrónicas, con inclusión de los servicios de telecomunicaciones y servicios de transmisión en las redes utilizadas para las comunicaciones.

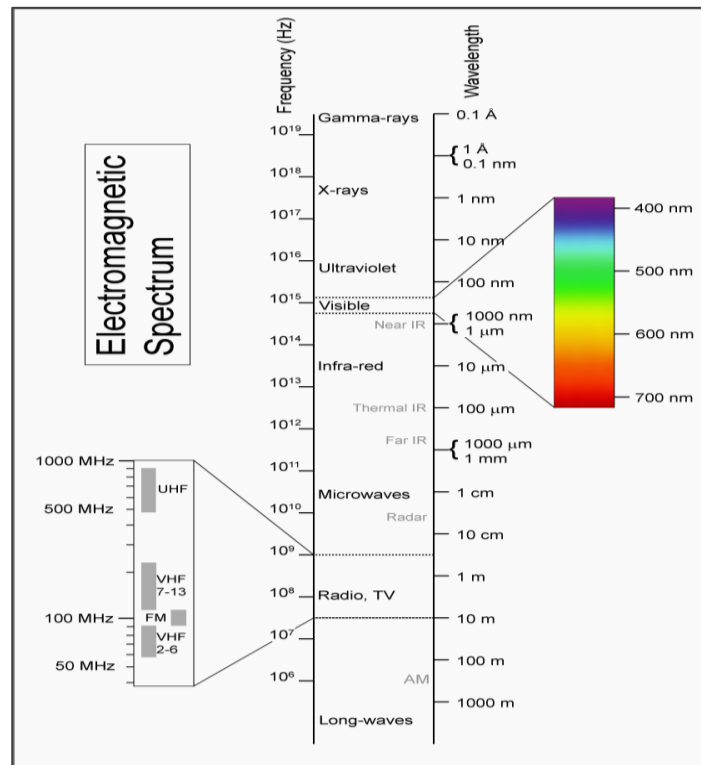
Las innovaciones en la tecnología de las comunicaciones electrónicas estimuló la era de la Información, un período de tiempo con transmisión de información fluida y casi instantánea. El mundo digital ofrece interfaces, tales como el correo electrónico, la mensajería instantánea y las salas de chat, entre otros; que ayudan a la transferencia simultánea de información a un gran número de personas.

Para muchas organizaciones, públicas y privadas la comunicación electrónica se ha convertido en una necesidad para el mejor desenvolvimiento a nivel de servicios de sus empleados, ya que la información fluye de manera eficaz y eficiente, agiliza los procesos, esto redundará en una mayor y mejor atención a los clientes.

### 3.3 Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético (o simplemente espectro) es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto.

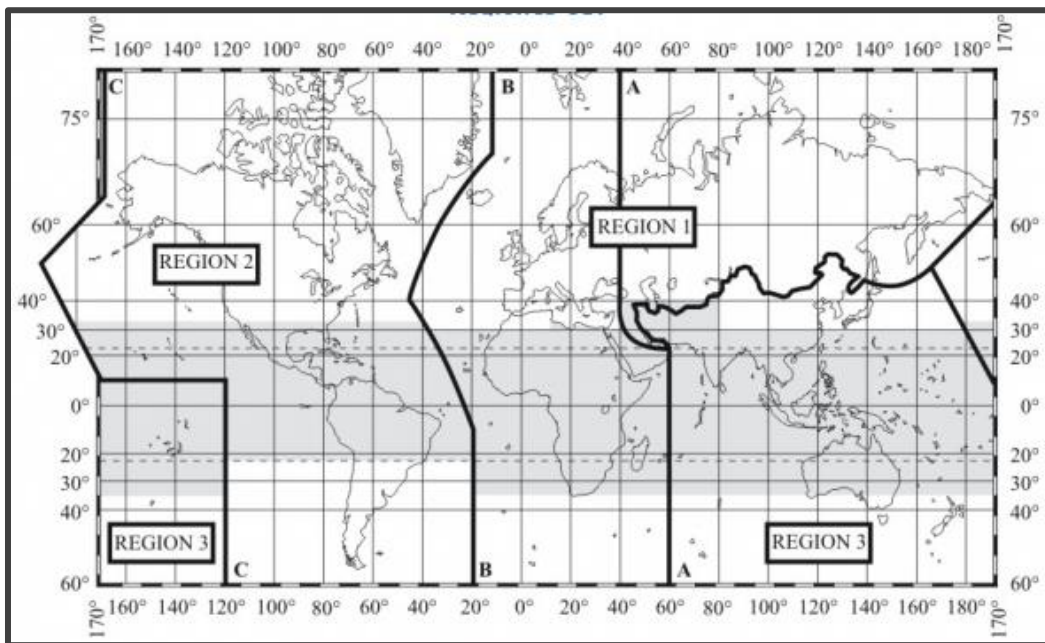
El espectro electromagnético se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga), hasta los rayos cósmicos (extremo de la onda corta), que cubren longitudes de onda de entre miles de kilómetros y la fracción del tamaño de un átomo respectivamente. La Figura 3.1 ilustra las bandas del Espectro electromagnético, con su respectiva distribución.



**Figura 3.1** Espectro Electromagnético

### 3.3.1 Regiones del Espectro Electromagnético.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ente regulador del sector de las telecomunicaciones a nivel mundial, desde el punto de vista de atribuciones de banda de frecuencia, dividió al mundo en tres Regiones: Región 1, Región 2 y Región 3 (CONATEL, 2012, p.33). Ecuador como se muestra en la Figura 3.2 se encuentra en la Región 2.



**Figura 3.2** División de las Regiones del Espectro Electromagnético

**Región 1:** Comprende la zona limitada al este por la línea A y por el oeste la línea B, excepto el territorio de la república Islámica de Irán situado dentro de estos límites. Comprende también la totalidad de los territorios de Armenia, Azerbaiyán, Federación de Rusia, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía, Ucrania y la zona norte de la Federación de Rusia que se encuentra entre la línea A y C,

**Región 2:** comprende la zona limitada al este por la línea B y al oeste por la línea C, allí se encuentran todos los países del Continente Americano.

**Región 3:** comprende la zona limitada al este por la línea C y al oeste por la línea A, excepto el territorio de Armenia, Azerbaiyán, Federación de Rusia, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía, Ucrania y la zona norte de la Federación de Rusia. Comprende así mismo, la parte del territorio de la República Islámica de Irán situada fuera de estos límites.

### 3.3.2 Bandas de Frecuencia del Espectro Electromagnético.

En la Tabla 3.2 se encuentra la distribución de las bandas de Frecuencia del Espectro electromagnético comprendidas desde las frecuencias extremadamente bajas (ELF) 30 Hz hasta el Rayo Cósmico 30 EHz.

**Tabla 3.2** Bandas de Frecuencia del espectro electromagnético.

Nº	Frecuencia	Rango
1	ELF (Frecuencia Extremadamente bajas)	30 a 300 Hz
2	VF (Frecuencia de Voz)	300 a 3000 Hz
3	VLf (Frecuencias muy bajas)	3 a 30 KHz
4	LF (Frecuencias bajas)	30 a 300 KHz
5	MF (Frecuencias medias)	0.3 a 3 MHz
6	HF (Frecuencias altas)	3 a 30 MHz
7	VHF (Frecuencias muy altas)	30 a 300 MHz
8	UHF (Frecuencias Ultra altas)	0.3 a 3 GHz
9	SHF (Frecuencias Súper altas)	3 a 30 GHz
10	EHF (Frecuencias Extremadamente altas)	30 a 300 GHz
11	Luz infrarroja	0.3 a 300 THz
12	Luz visible	0.3 a 3 PHz
13	Luz ultravioleta	3 a 30 PHz
14	Rayos-X	30 a 300 PHz
15	Rayos gamma	0.3 a 3 EHz
16	Rayo cósmico	3 a 30 EHz

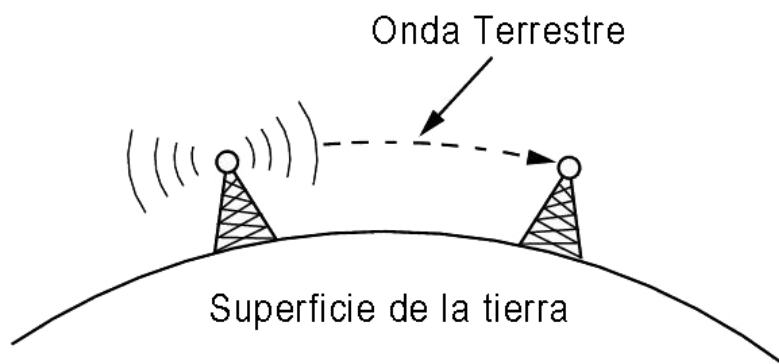


Al espectro electromagnético se lo puede dividir en tres rangos de frecuencia amplios, donde cada uno de ellos se distingue un modo de propagación dominante:

- a) Onda terrestre o groundwave (por debajo de 2 MHz)
- b) Onda espacial o Skywave (2 a 30 MHz)
- c) Línea de vista o propagación LOS (Line Of Sight) por encima de los 30 MHz

En la propagación por onda terrestre, la onda electromagnética tiende a seguir el contorno de la tierra observando la Figura 3.3; la difracción de la onda hace que esta se propague a través de la superficie de la tierra.

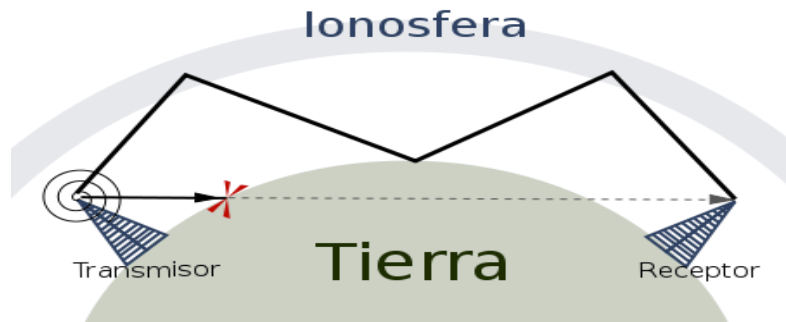
La propagación por **onda terrestre** es mucho mejor sobre agua (especialmente agua salada) que sobre terreno desértico muy seco (pobre conductividad). Las pérdidas de la tierra se incrementan rápidamente con el aumento de la frecuencia, por esta razón las ondas terrestres no son muy efectivas a frecuencias por arriba de los 2 MHz.



**Figura 3.3** Propagación por onda terrestre por debajo de los 2 MHz.

En la propagación por **onda espacial** se consigue una cobertura de larga distancia gracias a que en este modo de propagación las ondas electromagnéticas radiadas desde la antena transmisora

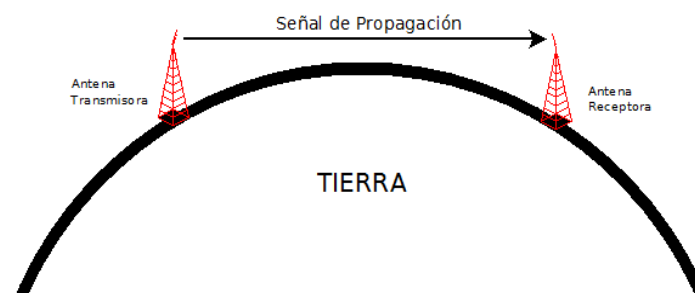
tienen un ángulo tal que chocan con la ionosfera (tercera capa de la atmosfera ubicada aproximadamente a 400 Km de altura), son reflejadas (doblad) de vuelta a la tierra, chocan en la tierra y son reflejada en ella de regreso a la ionosfera y así sucesivamente. Es decir la propagación se consigue gracias a la acción de reflexión de la ionosfera y la tierra respectivamente. La Figura 3.4 muestra la acción de reflexión en la transmisión de datos.



**Figura 3.4** Propagación por onda espacial (2 a 30 MHz).

En la propagación por **línea de vista** las ondas electromagnéticas se propagan en línea recta a través de la ionosfera. Esta misma propiedad se utiliza en las comunicaciones vía satélite.

El modo LOS tiene la desventaja de que para establecer comunicación entre dos estaciones terrestres, la trayectoria de la señal tiene que estar por encima del horizonte observar la Figura 3.5, de lo contrario la tierra obstruirá la trayectoria (*LOS*); por tal razón las antenas tienen que instalarse en torres altas, de modo que la antenna receptora pueda “ver” a la transmisora.



**Figura 3.5** Propagación por Línea de vista sobre 30 MHz.

### **3.3.3. Transmisión vía Radio.**

Este tipo de transmisión usan las bandas VLF, LF, HF Y VHF. Son fáciles de generar, pueden viajar grandes distancias y penetrar fácilmente en los edificios. Son omnidireccionales (la energía es dispersada en múltiples direcciones), por lo tanto no necesitan direccionamiento alguno para su transmisión.

Las bandas VLF, LF Y MF, las ondas de radio siguen la superficie de la tierra (ondas terrestres, GW). Se usan en comunicaciones submarinas, radio AM, entre otras.

En HF y VHF las ondas terrestres tienden a ser absorbidas por la tierra. Sin embargo las ondas que llegan a la Ionosfera son reflejadas y devueltas a la tierra. Por múltiples reflexiones en la tierra pueden alcanzar grandes distancias (ondas espaciales, SW).

HF es utilizada por radioaficionados, navegación aérea y por comunicaciones militares, en tanto que VHF es usada en radio FM, televisión VHF. Como desventaja se menciona que tienen relativamente pequeño su ancho de banda y por lo consiguiente baja velocidad de transmisión.

### **3.3.4. Transmisión por Microondas.**

Por encima de los 300 MHz las ondas tienden a viajar en línea recta y tienen un haz bastante directo (la energía se concentra en una determinada dirección), o cual da una mayor relación señal ruido.

Se habla de microondas a las frecuencias por encima de 1 GHz hasta 40 GHz, a dichas frecuencias la propagación se da por línea de Vista (LOS).

Las Antenas de Microondas son colocadas rígidamente, a grandes alturas (usan torres) y están alineadas para conseguir transmisión por línea de vista; para este tipo de conexión inalámbrica se usan antenas del tipo parabólicas. Cuanto Mayor es la Frecuencia de la señal a transmitir, mayor es el ancho de banda, pero son más vulnerables a las interferencias.

El hecho de viajar en línea recta (LOS) limita el alcance, dependiendo de la necesidad se pueden utilizar repetidores.

Punto a Punto (PTP): canal y anchura de banda propios utilizando recursos de espectro determinados entre dos emplazamientos. Estas soluciones son adecuadas para saltos de entre 1 Km y varias decenas de Kilómetros, por ejemplo, enlaces microondas. Normalmente necesita visibilidad directa (LOS) entre los extremos para poder funcionar [14].

Las transmisiones a través de microondas no atraviesan edificios y pueden originarse varios trayectos para las ondas, llegando estas desfasadas a la antena receptora provocando al recombinarse interferencia, lo que origina el efecto denominado desvanecimiento por múltiples trayectorias. La principal causa de pérdidas de paquetes en la transmisión es la atenuación.

Las comunicaciones mediante microondas son más económicas, y pueden solucionar el problema del tendido de fibra óptica en áreas urbanas congestionadas o en terrenos montañosos. Además este tipo de servicios de telecomunicaciones a grandes distancias han sido utilizados, principalmente para comunicaciones de telefonía celular, TV, y en los últimos años “la normativa aplicable a las bandas de frecuencias empleadas por WiFi hacen que esta tecnología sea, desde el punto de vista radioeléctrico, aplicable a largas distancias” [15].

### 3.4. Onda Electromagnética

Son las ondas que se generan por el proceso de radiación electromagnética, se encargan de llevar energía de un lugar a otro. A diferencia de otro tipo de ondas, las electromagnéticas se propagan por el espacio sin necesidad de un medio guiado.

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por las variables: a) frecuencia de sus oscilaciones; y b) longitud de onda de las mismas. A su vez, la frecuencia se refiere al número de oscilaciones que ocurren en un periodo de tiempo determinado y la unidad de medida de esa frecuencia es el Hertzio (Hz), que equivale a la cantidad de ciclos u oscilaciones que tiene una onda electromagnética durante un segundo, expresándose las frecuencias en:

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/s}$$

$$1 \text{ kilohertzios (kHz)} = 1.000 \text{ Hz} \cdot 10^3$$

$$1 \text{ megahertzios (MHz)} = \text{Un millón de hertzios } 10^6$$

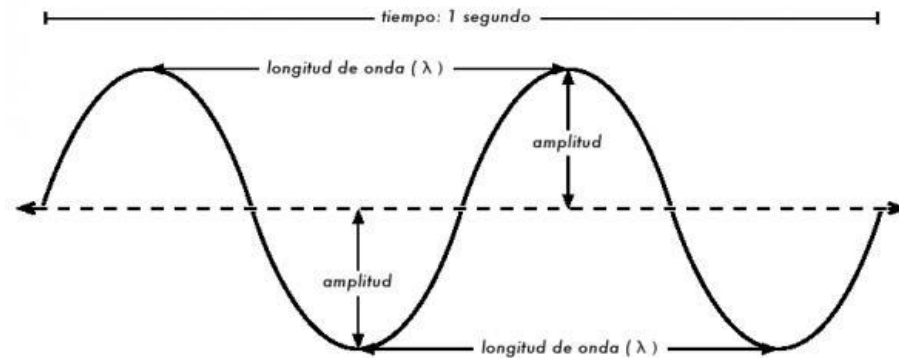
$$1 \text{ gigahertzios (GHz)} = \text{Mil millones de hertzios } 10^9$$

La Frecuencia está relacionada con la longitud de onda. De hecho, la velocidad de propagación se define como el producto de la longitud de onda por la frecuencia, Ecuación (3.1). Lo que significa que a longitudes de onda más pequeñas, mayor frecuencia y a longitudes de onda más grandes la frecuencia es menor.

$$\text{Velocidad} = \text{Frecuencia} * \text{Longitud de Onda} \quad (3.1)$$

La longitud de Onda ( $\lambda$ ) es la distancia medida desde un punto en una onda hasta la parte equivalente de la siguiente, la **amplitud** representa la altura que puede alcanzar la onda.

La Figura 3.6 muestra lo indicado.



**Figura 3.6** Frecuencia, amplitud, longitud de onda y tiempo

La frecuencia es el número de ondas enteras que pasan por un punto fijo en un segundo se mide en ciclos por segundos, el caso de la Figura 3.5 existen 2 ciclos en un segundo, es decir: la frecuencia corresponde a 2 Hz.

La **velocidad** se mide en metro/segundos.

En el caso de las ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio, la velocidad ( $v$ ) es la velocidad de propagación de la luz  $c = 300.000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , quedando ( $c = f \cdot \lambda$ ), ahora la longitud de onda para una frecuencia de 2,4 GHz, que es la frecuencia para redes inalámbricas del protocolo 802.11, será:

$$\lambda = \left( \frac{c}{f} \right) \quad (3.2)$$

$$\lambda = \left( \frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 10^9} \right) \quad (3.3)$$

$$\lambda = 0,125 \text{ m} \quad (3.4)$$

$$\lambda = 12,5 \text{ cm} \quad (3.5)$$

Es decir que la longitud de onda para la frecuencia de 2.4 GHz es de 12,5 cm.

El espectro radioeléctrico, “se subdivide en nueve bandas de frecuencias, que se designan por números enteros, en orden creciente” [16]. En la tabla 3.4 se muestran las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico con sus respectivas longitudes de ondas.

**Tabla 3.3** Longitud de ondas de varias frecuencias del espectro radioeléctrico.

Número de la banda	Símbolos (en Inglés)	Gamma de Frecuencia (excluido el límite inferior, incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
4	VLf	3 A 30 KHz	Ondas miriamétricas	B.Mam
5	LF	30 A 300 KHz	Ondas kilométricas	B.km
6	MF	300 a 3000 KHz	Ondas hectométricas	B.hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	B.cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12		300 a 3000 GHz	Ondas decilimétricas	

### 3.5. Frecuencias de Operación

El espectro radioeléctrico es un recurso natural, intangible y finito; propiedad de cada país, para lo cual existen entes gubernamentales que planifican, gestionan, atribuyen y controlan la asignación del uso del mismo. El espectro disponible se divide en dos categorías: Con licencia y Sin licencia.

#### 3.5.1. Espectro Licenciado.

El espectro sometido a licencia, es aquella frecuencia la que el ente regulador de cada país asigna a un determinado proveedor u operador, cuyo uso tiene un costo, la ventaja de obtener la licencia exclusiva de dichas frecuencias, es que existe un grado de protección contra la interferencia, además del control de las entidades gubernamentales quienes velan por el estricto cumplimiento de su utilización.

### **3.5.2. Espectro no Licenciado.**

Uso sin necesidad de contraprestación o pago, de algunas frecuencias o bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, atribuidas, permitidas y autorizadas de manera general y expresa por el Ministerio de Telecomunicaciones a través del ARCOTEL.

En la mayoría de los países, el espectro que no requiere de licencia y que se emplea para redes WiFi es 2.4 GHz y 5.8 GHz, Ecuador no es la excepción [17]. Debido a que estas frecuencias son libres, muchos permisionarios del Servicio de Valor Agregado de Internet ofrecen esta prestación empleando esta franja del espectro radioeléctrico.

### **3.6. Estudio y Análisis del Espectro no Licenciado en el cantón Junín.**

El objetivo de estudiar el espectro radioeléctrico no licenciado del cantón Junín es para determinar que frecuencias están menos congestionadas, para realizar el diseño de la red WiFi en las mejores condiciones.



A continuación se enuncian los lugares donde se realizó el análisis y los equipos utilizados para la obtención de las muestras.

### **3.6.1. Lugares donde se realizó el estudio del Espectro no licenciado de Junín.**

Los lugares donde se realizaron las muestras del análisis, fueron los sitios más poblados del sector rural de Junín, incluido el centro de la ciudad y el cerro más alto de Junín donde existen varias antenas de telecomunicaciones. Observar la Tabla 3.4 se detallan los sectores escogidos con su respectiva información de la ubicación geográfica.

**Tabla 3.4** Lugares donde se realizó el estudio del espectro no licenciado.

Nº	Sitio/Sector	Latitud	Longitud	Altitud
1	Junín	588327.43	9897638.63	167,3
2	Aguafría	590619.13	9899882.17	40,7
3	Guayabales	586417.66	9890182.93	465,7
4	Montañita	582468.21	9903915.85	50,0
5	Andarieles	596891.05	9894284.24	80,0
6	El Cerro de Junín	580316.37	9893572.70	525,8

Los valores de la georeferenciación fueron obtenidas con un GPS Garmin (400t), al igual que la elevación aproximada se obtuvo en el software Radio-Mobile.

#### ***3.6.1.1. Equipos Utilizados para el análisis del Espectro.***

Los equipos y herramientas utilizados para realizar el análisis del espectro radioeléctrico en los diferentes sectores de la geografía de Junín.

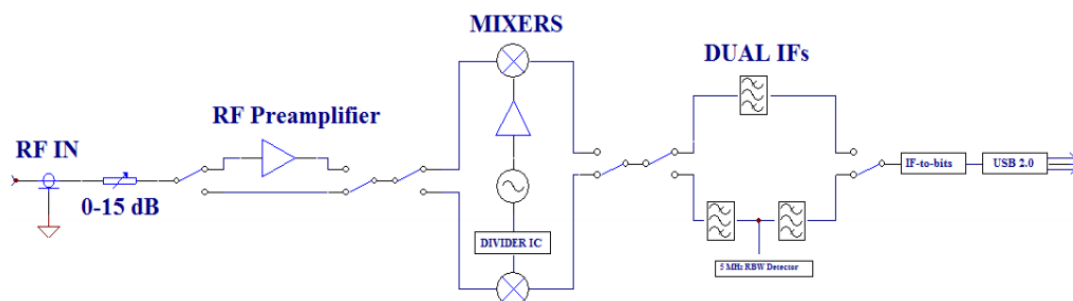
- GPS Garmin

- Analizador de Espectro Signal Hound USB-SA124B<sup>7</sup>
- Antena, Cable Coaxial, Cable USB.
- Laptop.

### 3.6.1.2. *Parámetros a considerar en el Analizador de espectro.*

Como se ha manifestado el estudio del análisis del espectro radioeléctrico en Junín se lo realizó mediante el analizador *Signal Hound* USB-SA124B; dicho equipo electrónico, trabaja en un rango de frecuencia desde 100 kHz hasta 12.4 GHz [18], realiza la medición mediante un preamplificador de RF. El uso de las recientes innovaciones en tecnología RF, la sensibilidad, precisión y rango dinámico que cabría esperar en un dispositivo. El diagrama de bloques, se muestra en la Figura 3.12, ilustra los elementos principales del diseño.

El Signal Hound se alimenta desde el cable USB, eliminando la necesidad de una fuente de alimentación independiente. Con menos de 8 pulgadas de largo y un peso inferior a 1 libra, este dispositivo se puede utilizar prácticamente en cualquier lugar.

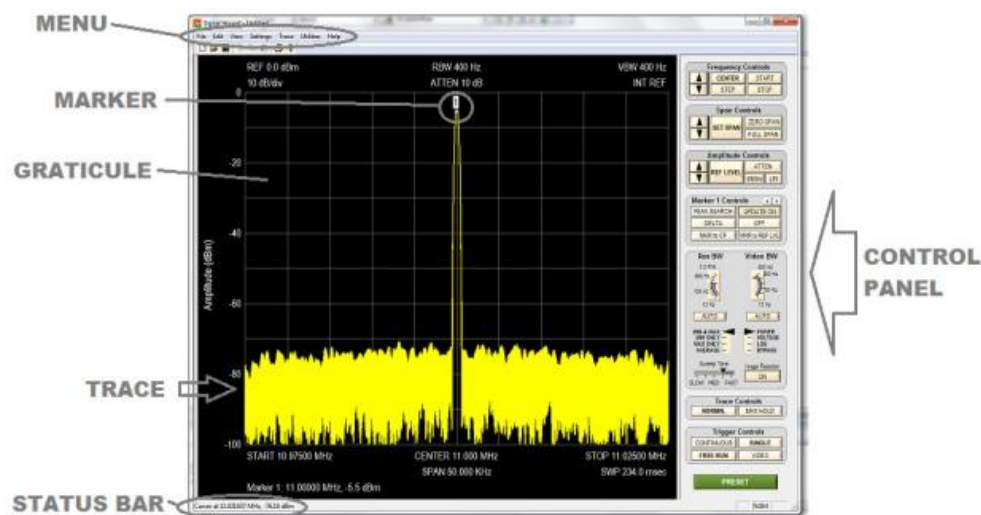


**Figura 3.7** Diagrama de bloque simplificado del Signal Hound

<sup>7</sup> <https://signalhound.com/products/usb-sa124b/>

El *Signal Hound* es operado desde un PC basado en Windows mediante una aplicación desarrollada para este efecto. El ordenador debe tener las siguientes especificaciones técnicas mínimas para poder instalar los controladores y la aplicación: Al menos 500 MB de espacio libre en disco, 2 GB de RAM, USB 2.0 y un procesador Intel® Core 2 Duo o equivalente (se recomienda Core i3 o equivalente). El equipo debe tener (.net framework Microsoft) versión 3.5 o más reciente instalado. Si el sistema operativo es Windows 7 o Windows Vista y tiene las actualizaciones automáticas activadas, seguro debe estar instalado.

La interfaz de usuario de la *signal Hound*, gráfica o GUI, se utiliza para comunicarse con el dispositivo, el usuario envía comandos utilizando el **Menú** y el **Panel de Control**. Los datos se devuelven a través de USB y se muestra en el **Graticule** como **Trace**. Para medidas específicas, el **Marker** y la barra de estado (*status bar*) se pueden usar también. Ver Figura 3.13 nos muestra la ubicación de estos elementos.



**Figura 3.8** Interfaz de usuario (GUI) del Signal Hound.

### **3.6.1.3. Como realizar una medición del espectro.**

Antes de realizar las mediciones es necesario tomar en consideraciones varios aspectos esenciales. Existe un parámetro (*Resolution BandWidth*, RBW”), resolución de ancho de banda, el mismo que determina la separación de la frecuencia de dos muestras adyacentes, el *Signal Hound USB-SA124B* permite un máximo de 250 KHz. No se recomienda la toma de medidas de señales con un ancho de banda de más de 250 KHz.

Para señales dentro del límite de ancho de banda de 250 KHz, existe un alto grado de exactitud y sensibilidad. El demodulador I /Q tiene (*DACs*) duales de 24 bits, dando una muy alta resolución interna.

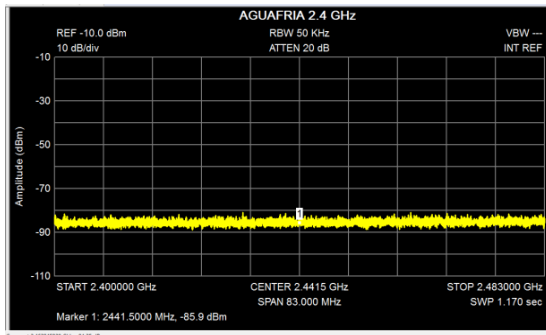
### **3.6.2. Mediciones del espectro no licenciado de varios sectores de Junín.**

Las mediciones se realizaron en cada uno de los sectores escogidos para el desarrollo del presente tema de investigación, observar Tabla 3.4, las frecuencias no licenciadas analizadas son la 2.4 GHz y la 5GHz, correspondientes a la franja de la banda ISM.

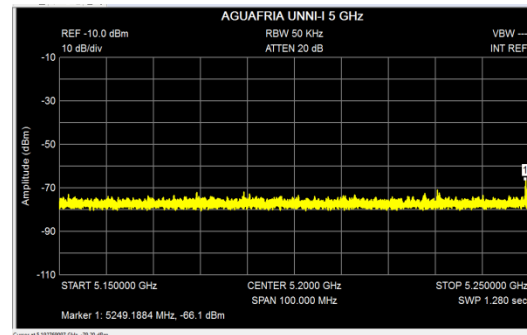
#### **3.6.2.1. Sitio Aguafría.**

La Figura 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12, corresponde al análisis de la frecuencia de la banda 2.4 GHz y 5 GHz, en el sitio Aguafría. El marker1 muestra la frecuencia central. Como se aprecia no

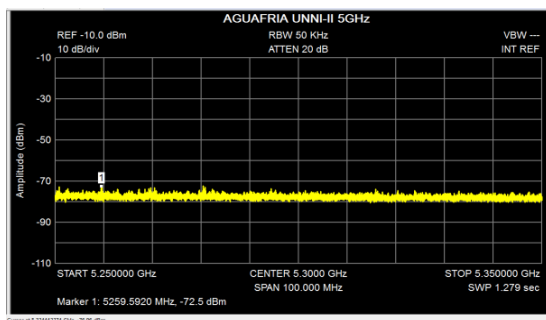
existen picos evidentes en ninguna de las muestras, es decir están descongestionadas estas bandas en este sector, solo existen pequeños ruidos.



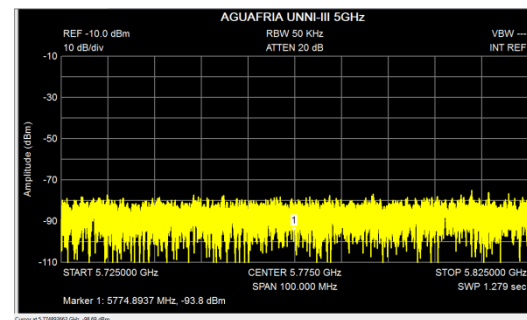
**Figura 3.9** Muestra de frecuencia 2.4 GHz Aguafría



**Figura 3.10** Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, Aguafría



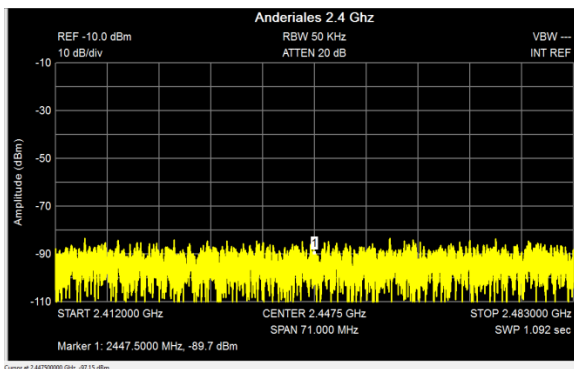
**Figura 3.12** Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, Aguafría.



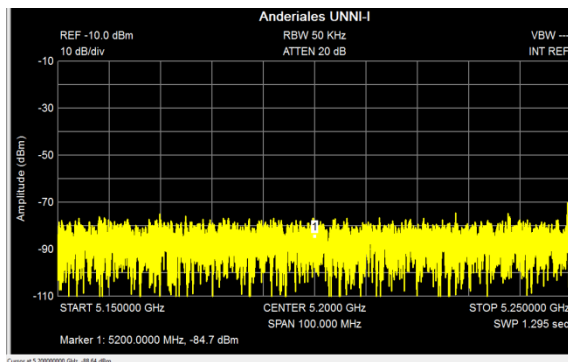
**Figura 3.11** Muestra de frecuencia UNNI-III 5 GHz, Aguafría.

### 3.6.2.2. Sitio Andarieles.

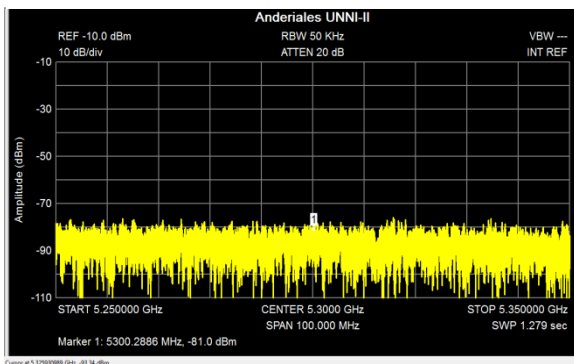
La Figura 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16, corresponde al análisis de la frecuencia de la banda 2.4 GHz y 5 GHz, en el sitio Andarieles. El marker1 muestra la frecuencia central. Como se aprecia no existen picos evidentes en ninguna de las muestras, es decir están descongestionadas estas bandas en este sector, solo existen señales pasajeras generadas por ruidos.



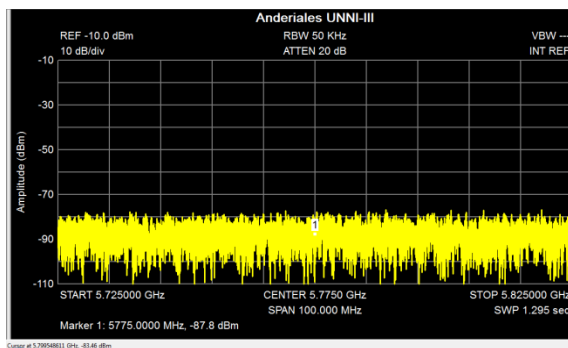
**Figura 3.13** Muestra de frecuencia 2.4 GHz, Andarieles.



**Figura 3.14** Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, Andarieles.



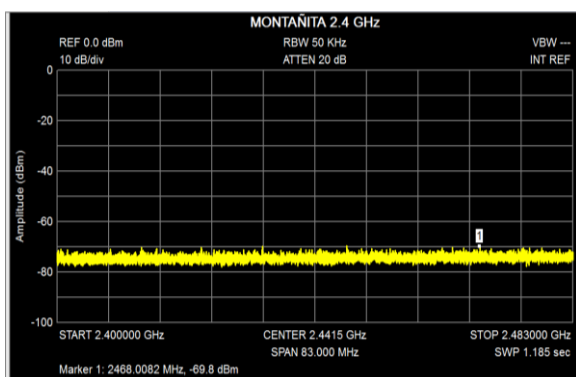
**Figura 3.15** Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, Andarieles.



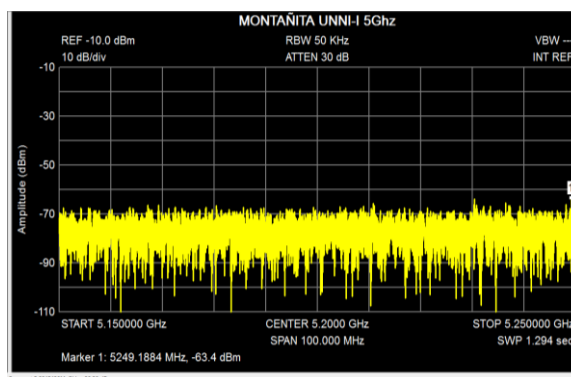
**Figura 3.16** Muestra de frecuencia UNNI-III 5 GHz, Andarieles.

### 3.6.2.3. Sitio Montañita.

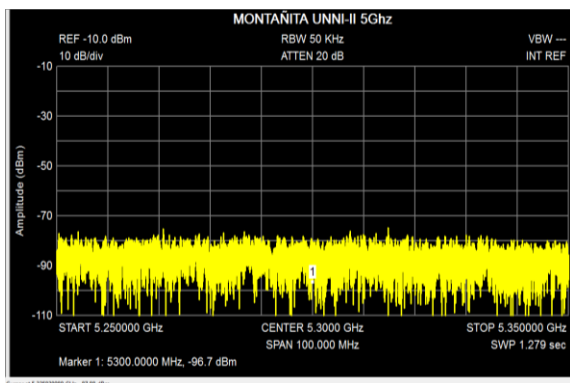
La Figura 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20, corresponde al análisis de la frecuencia de la banda 2.4 GHz y 5 GHz, en el sitio Montañita. El marker1 muestra la frecuencia central. Como se aprecia no existen picos evidentes en ninguna de las muestras, es decir están descongestionadas estas bandas en este sector, solo existen señales pasajeras generadas por ruidos.



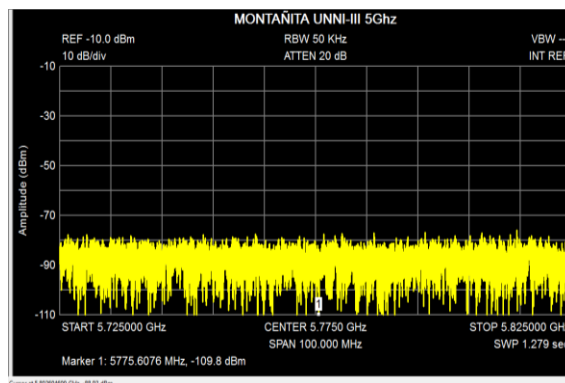
**Figura 3.18** Muestra de frecuencia 2.4 GHz, Montaña.



**Figura 3.17** Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, Montaña.



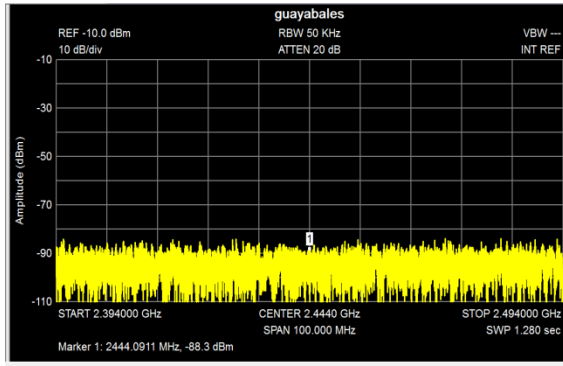
**Figura 3.20** Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, Montaña.



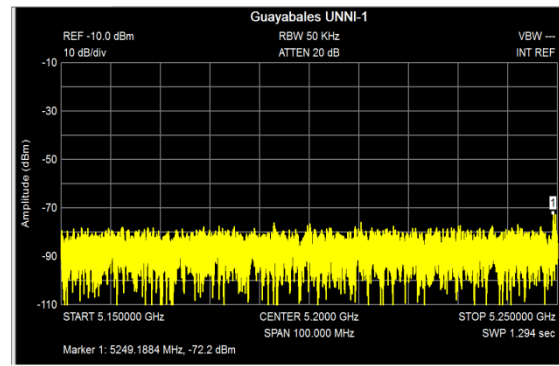
**Figura 3.19** Muestra de frecuencia UNNI-III 5 GHz, Montaña.

#### 3.6.2.4. Sitio Guayabales.

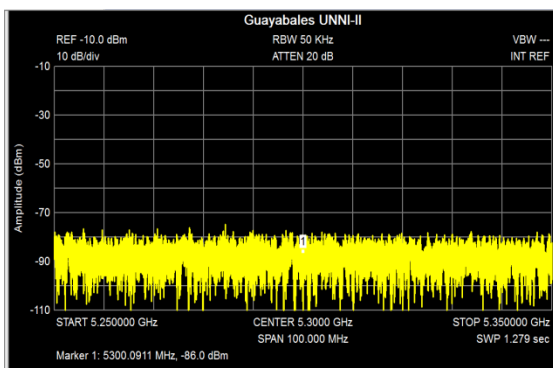
La Figura 3.21, 3.22, 3.23 y 3.24, corresponde al análisis de la frecuencia de la banda 2.4 GHz y 5 GHz, en el sitio Guayabales. El marker1 muestra la frecuencia central. Como se aprecia no existen picos evidentes en ninguna de las muestras, es decir están descongestionadas estas bandas en este sector, solo existen señales pasajeras generadas por ruidos. El SWP es realizado en 1.279 s, el (RBW) es de 50 KHz



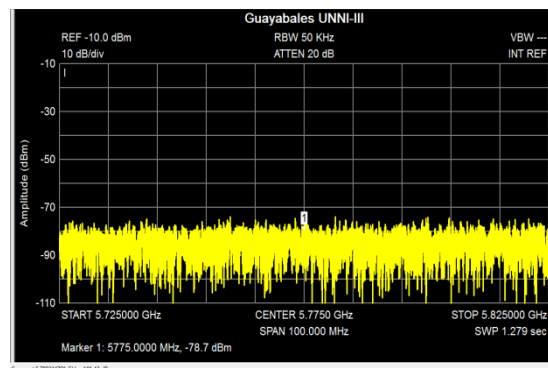
**Figura 3.21** Muestra de frecuencia 2.4 GHz, Guayabales



**Figura 3.22** Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, Guayabales.



**Figura 3.23** Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, Guayabales.

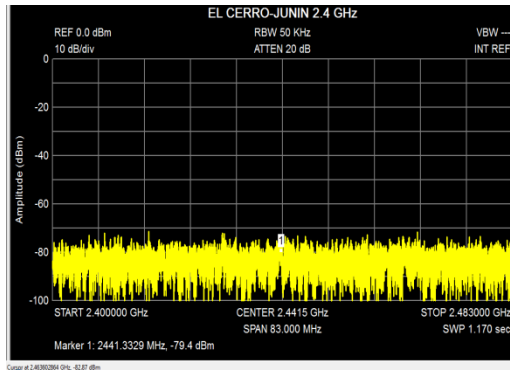


**Figura 3.24** Muestra de frecuencia UNNI-III 5 GHz, Guayabales.

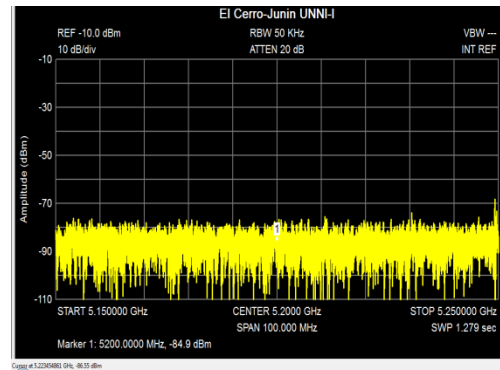
### 3.2.6.5. *El Cerro de Junín*

La Figura 3.25, 3.26, 3.27 y 3.28, corresponde al análisis de la frecuencia de la banda 2.4 GHz y 5 GHz, en el sector del Cerro de Junín. El marker1 muestra la frecuencia central. Como se aprecia no existen picos evidentes en ninguna de las muestras, es decir están des congestionadas estas bandas en este sector, solo existen señales pasajeras y señales generadas por ruidos. El SWP es realizado en 1.279 s, el (RBW) es de 50 KHz.

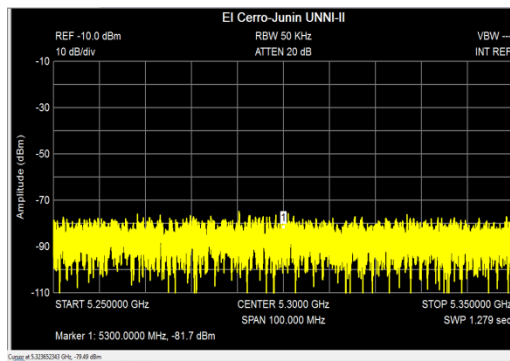




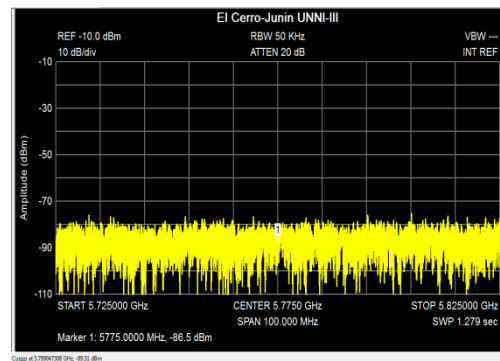
**Figura 3.26** Muestra de frecuencia 2.4 GHz, El Cerro.



**Figura 3.25** Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, El Cerro.



**Figura 3.27** Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, El Cerro.

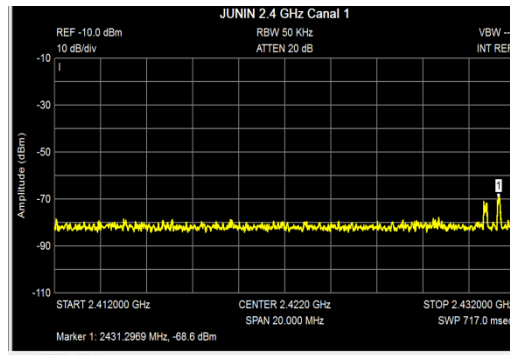


**Figura 3.28** Muestra de frecuencia UNNI-III 5 GHz, El Cerro.

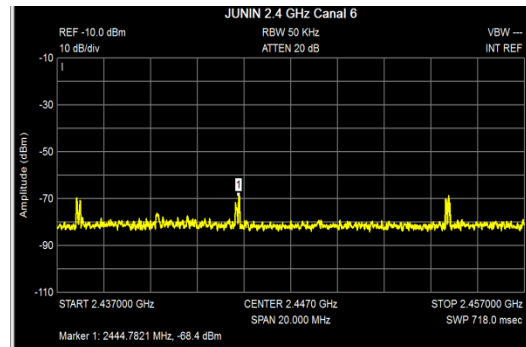
#### 3.2.6.6. *Junín*

La Figura 3.29, 3.30, 3.31, corresponde al análisis de la frecuencia de la banda 2.4 GHz, canal 1, canal 6 y canal 11. Estas muestras indican una mínima utilización de esta banda. Las Figuras 3.32, 3.33, 3.34 pertenecen a la franja de frecuencia de 5 GHz. El marker1 muestra la frecuencia central y los Marker secuenciales evidencian utilización mínima. En estas imágenes se aprecian picos elevados (presencia de pocas señales en estos canales), algunas son estables. En general

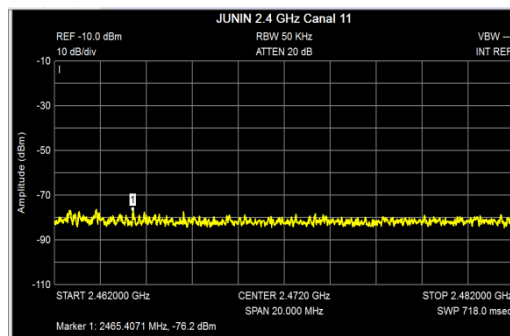
están descongestionadas estas franjas del espectro radioeléctrico en el centro de Junín. El (RBW) es de 50 KHz.



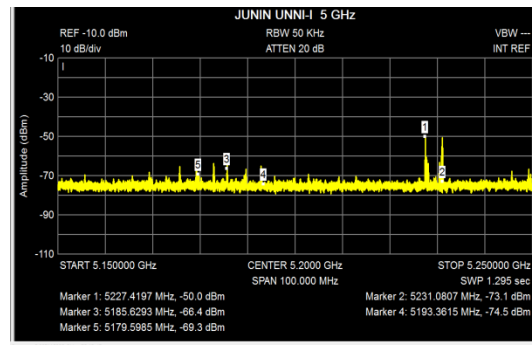
**Figura 3.29** Muestra de frecuencia 2.4 GHz canal 1, Junín.



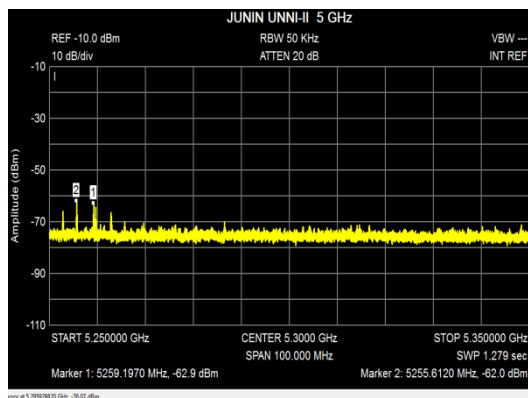
**Figura 3.30** Muestra de frecuencia 2.4 GHz canal 6, Junín.



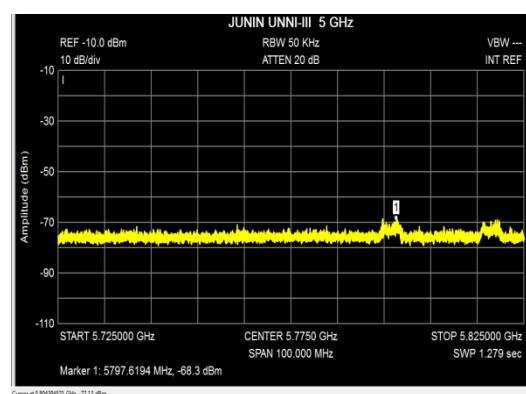
**Figura 3.31** Muestra de frecuencia 2.4 GHz canal 11, Junín.



**Figura 3.32** Muestra de frecuencia UNNI-I 5 GHz, Junín.



**Figura 3.33** Muestra de frecuencia UNNI-II 5 GHz, Junín.



**Figura 3.34** Muestra de frecuencia UNNI-III 5 GHz, Junín.

### **3.7. Análisis de las muestras del espectro radioeléctrico en Junín.**

En las mediciones realizadas al espectro radioeléctrico en los diferentes sitios de Junín, en las bandas 2.4 y 5 GHz. Se puede concluir que en los sectores rurales las bandas ISM están descongestionadas, el presente análisis lo corrobora; a diferencia del sector urbano que se encuentran un poco utilizado, esto se debe a que en Junín como en cualquier ciudad del Ecuador existen permisionarios del servicio de valor agregado de internet quienes despliegan sus redes en las franjas del espectro no licenciado objeto del presente estudio, sin embargo existe una amplia disponibilidad de este espectro radioeléctrico en este cantón, por lo que no hubo impedimento para continuar con la investigación.

En el centro de la ciudad se detectó mayor utilización de la banda 5 GHz, ello responde a que muchos proveedores de servicio de valor agregado de internet, han migrado su infraestructura, a esta franja del espectro no licenciado, por estar desocupado y por las mejores velocidades en la transmisión de datos.

Luego de haber analizado las muestras del espectro radioeléctrico en los diferentes sectores rurales y en el centro de la ciudad, se ha optado por utilizar la banda de 2.4 GHz correspondiente a la banda ISM, para efectos de la simulación de la red WiFi rural de Junín, en los siguientes capítulos, esta banda no se encuentra muy utilizada, además hay que tener bien claro que a menor frecuencia existe menor degradación de la señal, es menos sensible a los fenómenos medioambientales como las lluvias frecuentes en la zona costera de este país. Los estándares WiFi que trabajan en esta banda son el 802.11b, 802.11g y 802.11n.

## Capítulo IV

### 4. Diseño de la Red WiFi de Largo Alcance.

#### 4.1. Herramienta de Simulación para perfil topográfico.

Para el presente estudio se utilizó un software Radio-Mobile versión 11.3.9.

##### 4.1.1. Radio-Mobile

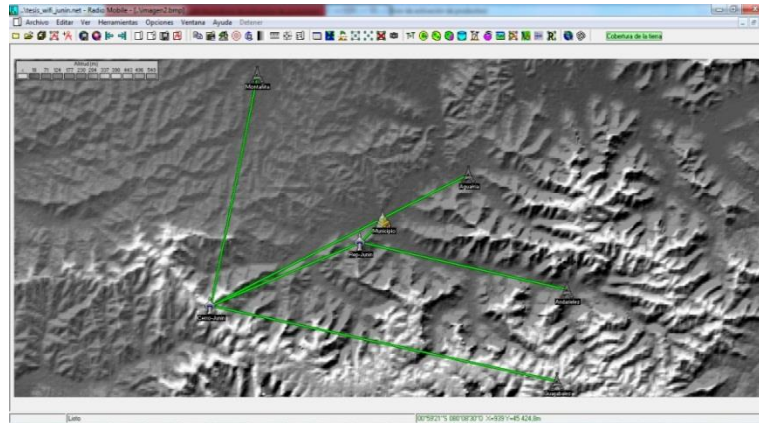
Radio-Mobile es un programa de simulación de radio-propagación, gratuito desarrollado por *Roger Coudé*, pensado para los radioaficionados y uso humanitario, pero en el ámbito educativo lo usan para predecir el comportamiento de sistemas radio, simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones determinada, entre otras funciones.

El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice.

Radio-Mobile utiliza datos de elevación del terreno que se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés, vistas estereoscópicas, vistas en 3-D y animaciones de vuelo estéreo.

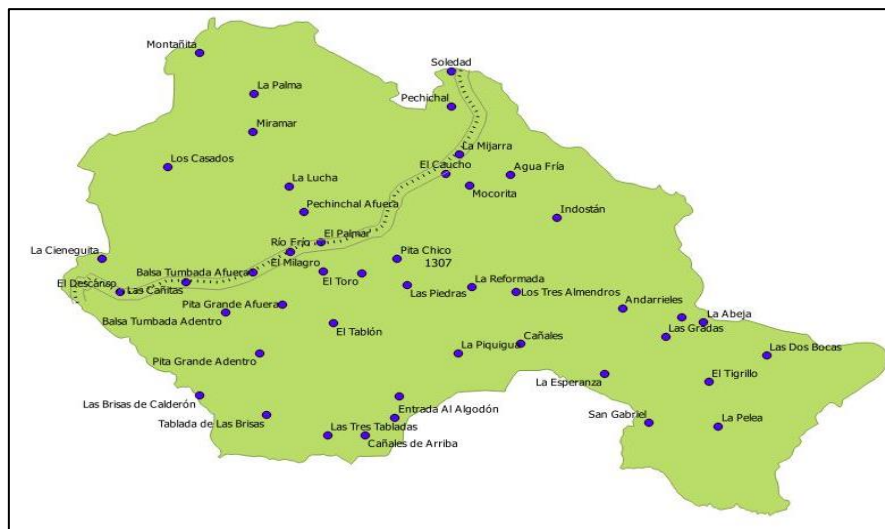
Los datos de elevación se pueden obtener de diversas fuentes, entre ellas del proyecto de la NASA Shuttle Terrain Radar Mapping Misión (SRTM) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m) [19].

La figura 4.1 muestra un ejemplo, la ventana principal y herramientas del software Radio-Mobile.



#### 4.2. Estudio de los sectores rurales considerados en la Red.

Como se mencionó en el Capítulo I, la ciudad de Junín en su mayoría (80 %) es rural, al momento cuenta con 46 sitios distribuidos en su extensión territorial, en el grafico 4.2 se muestra el mapa con la georeferenciación de los sectores rurales.

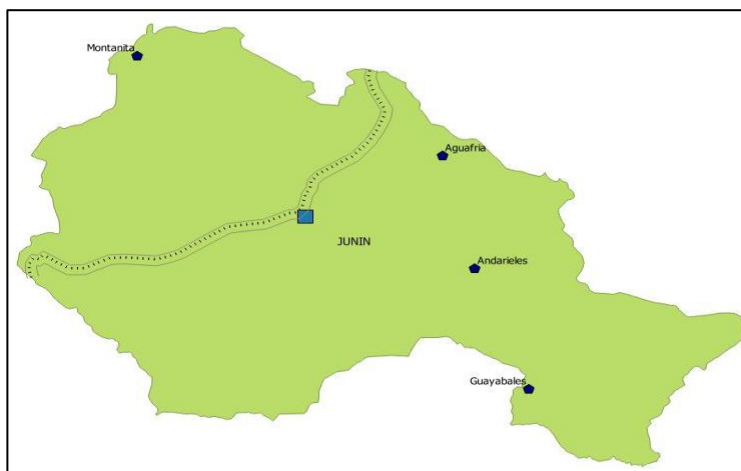


La elección de los sectores rurales más poblados se la discutió y consensuó en sesión ordinaria de Concejo del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Junín, celebrada el

viernes 26 de septiembre de 2014; en el Anexo A se encuentra la parte pertinente de la sesión, momento el cual se establecen a los centros rurales con mayor población de Junín, los mismos que a continuación se detallan:

- ✓ Montañita
- ✓ Andarieles
- ✓ Aguafría
- ✓ Guayabales

La figura 4.3 muestra el mapa de Junín con la ubicación de los sectores escogidos para el presente estudio.



**Figura 4.3** Centros rurales más poblados de Junín.

El cerro es el lugar más alto de Junín, sector idóneo para distribuir la red WiFi, tiene línea de vista a la mayoría de los lugares escogidos para el presente estudio, sector privilegiado geográficamente, su altura alcanza los 525 metros sobre el nivel del mar. En la actualidad existen varias torres implementadas, proveedores como CNT E.P. y Telconet S.A. tienen su infraestructura allí, lo más importante es que no están tan congestionadas las frecuencias como

se lo evidencia en el Capítulo III. La figura 4.4 muestra el acceso al cerro y las torres implementadas.



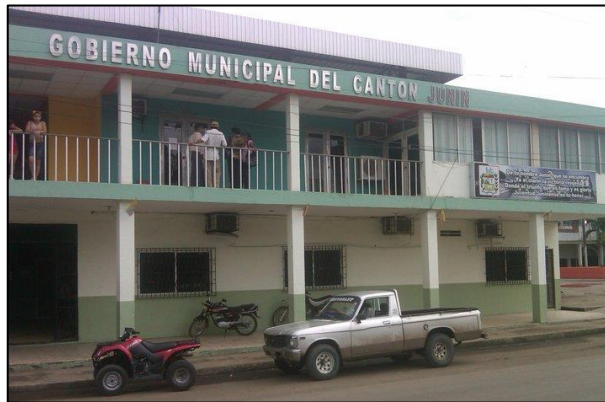
**Figura 4.4** El Cerro de Junín.

Otro lugar necesario para la completar la red WiFi de largo alcance, es la loma de Junín, punto imperioso para realizar dos enlaces, justo donde se encuentran instaladas las torres de Conecel y Otecel, adyacentes al casco urbano de Junín, su altitud bordea los 250 metros sobre el nivel del mar. La figura 4.5 muestra una imagen de este sector.



**Figura 4.5** Loma de Junín.

El GAD de Junín es el nodo central donde se va a administrar la Red WiFi Rural de Junín, está ubicado en el área céntrica de la ciudad de Junín, a una altura aproximada de 52 m sobre el nivel del mar; la imagen 4.6 no muestra la edificación Municipal.



**Figura 4.6 Municipio de Junín.**

El nodo Maestro o central es el Municipio y los nodos repetidores serían, el Cerro de Junín y la Loma de Junín, obteniendo los siguientes enlaces repetidores:

1. Municipio-Cerro\_Junín.
2. Municipio-Loma\_Junín.

Por la ubicación de los sitios rurales más poblados de Junín, con respecto a la cercanía de los nodos repetidores, se consideraron para el presente diseño los siguientes enlaces subordinados o esclavos:

1. Cerro\_Junín- Guayabales
2. Cerro\_Junín-Montañita
3. Loma\_Junín- Aguafría
4. Loma\_Junín-Andarieles



Es preciso indicar que todos los sectores cuentan con accesibilidad, esto se lo verificó luego de realizar una visita, a cada uno de los sitios rurales más poblados de Junín, en el *Anexo B* encontrarán evidencia de lo manifestado; además estos sitios cuentan con el servicio de energía eléctrica por lo que no es necesaria la utilización de otra fuente de alimentación de electricidad. En dichas zonas existe cobertura de una operadora de telefonía celular, uno de varios recursos tecnológicos útil como herramienta para la alineación de las antenas, debido a las distancias entre uno y otro punto por cada enlace.

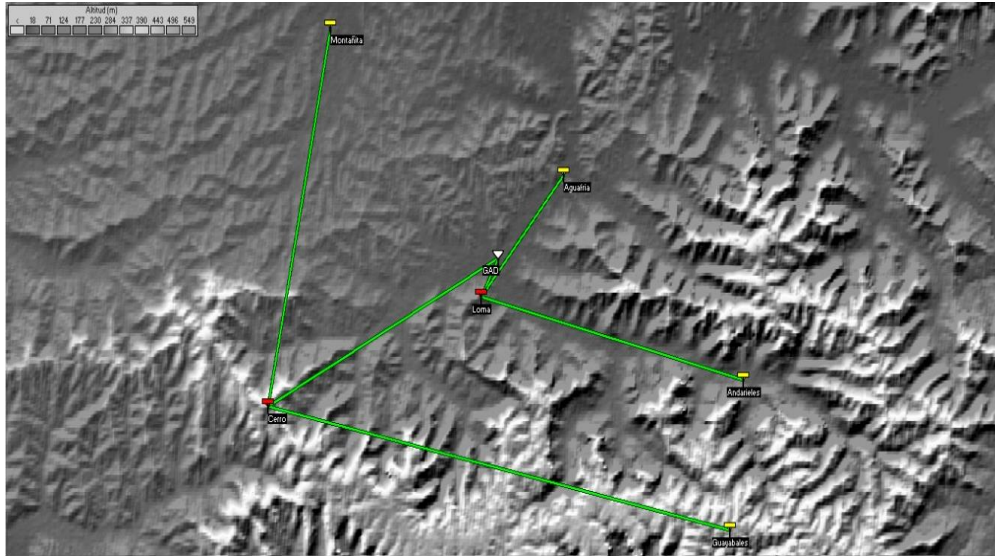
La Tabla 4.1 presenta la información geo-referenciada de cada uno de los puntos escogidos para red WiFi de largo alcance, con su respectiva altitud aproximada, dato obtenido en el software Radio-Mobile, corroborado con un GPS, las coordenadas están en (UTM) Datun WGS84.

**Tabla 4.1 Información Geo-referencial de los enlaces.**

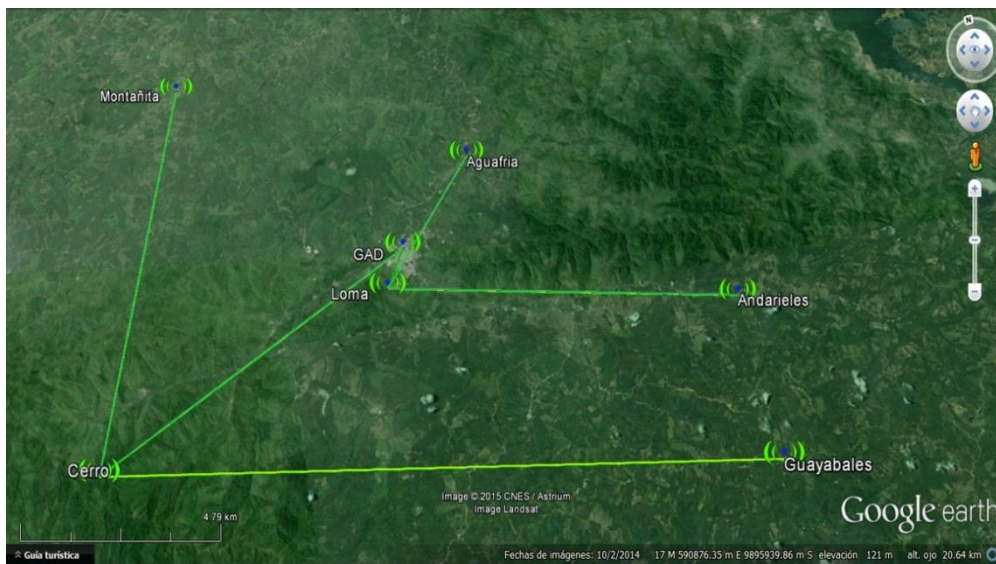
Nº	Sitio	Latitud	Longitud	Altitud (m)
1	GAD de Junín	588327.43	9897638.63	56
2	Loma_Junín	587739.28	9896558.39	208
3	Aguafría	590619.13	9899882.17	40,7
4	Andarieles	596891.05	9894284.24	80,0
5	Cerro de Junín	580316.37	9893572.70	525,8
6	Montañita	582468.21	9903915.85	50,0
7	Guayabales	586417.66	9890182.93	465,7

### **4.3. Diseño de la Red WiFi de Largo Alcance**

Luego de que se determinaran los sectores rurales más poblados de Junín, inmediatamente se analizó el perfil topográfico de dichos lugares mediante el software Radio-Mobile, para escoger la mejor topología de red en el estudio de acuerdo al área geográfica de Junín, obteniendo la red de largo alcance, la misma que se presenta en la Figura 4.7 y 4.8.

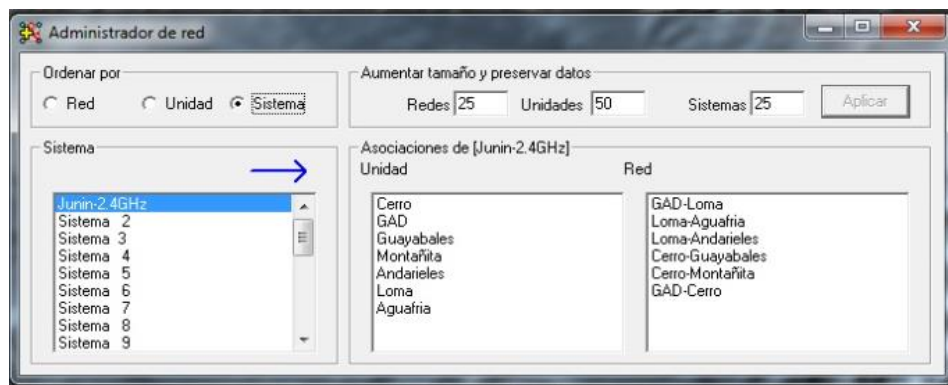


**Figura 4.7 Red Wi-Fi rural de Junín mediante radio Mobile.**



**Figura 4.8 Red WI-FI mediante Google Earth.**

Las unidades utilizadas en la parametrización de Radio-Mobile son los sitios escogidos en el estudio, incluido los sectores escogidos como repetidores y el nodo central, las pequeñas redes que se formaron y el sistema utilizado se muestran en la Figura 4.9, cabe indicar que esta información se obtuvo en el software Radio-Mobile.



**Figura 4.9** Administración de la Red en Radio Mobile.

A continuación se muestran los respectivos enlaces, que en su conjunto forman la Red WIFI Rural de largo Alcance de Junín.

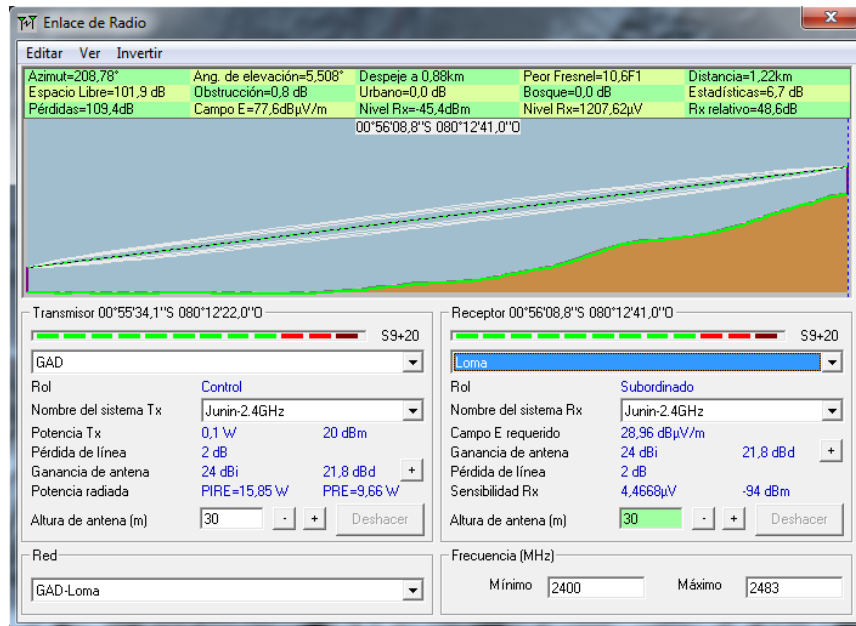
#### 4.3.1. Enlace GAD-Loma.

La Tabla 4.2 muestra los parámetros de configuración del enlace GAD-Loma a través de Radio-Mobile, para simular el perfil topográfico de dicho enlace punto a punto.

**Tabla 4.2** Configuración, enlace GAD-Loma, mediante Radio-Mobile.

N°	Detalle	Valores
1	Antena Rockedish-2G23	24 dBi ganancia
2	Distancia Municipio-Loma_Junín	1,22 km
3	Azimut norte verdadero	221,24°
4	Azimut Norte Magnético	222,67°
5	Angulo de elevación	5,5841°
6	Variación de altitud	157,4 m
7	Modo de propagación	línea de vista
8	Mínimo despeje	10,4F1 a 1,1km
9	Frecuencia promedio	2441,5 MHz
10	Espacio Libre	104,4 dB
11	Obstrucción	-0,8 dB
12	Pérdida de propagación total	110,3 dB
13	Ganancia del sistema de Municipio-Loma de Junín	162,0 dB
14	Ganancia del sistema de Loma de Junín -Municipio	162,0 dB
15	Peor recepción	51,7 dB

La Figura 4.10 muestra el resultado de la simulación mediante *Radio-Mobile*, correspondiente al enlace GAD-Loma.



**Figura 4.10** Perfil topográfico GAD-Loma, mediante Radio- Mobile

La Figura 4.11 muestra el enlace Punto a Punto, GAD-Loma mediante Google earth.



**Figura 4.11** Enlace GAD-Loma mediante Google earth.

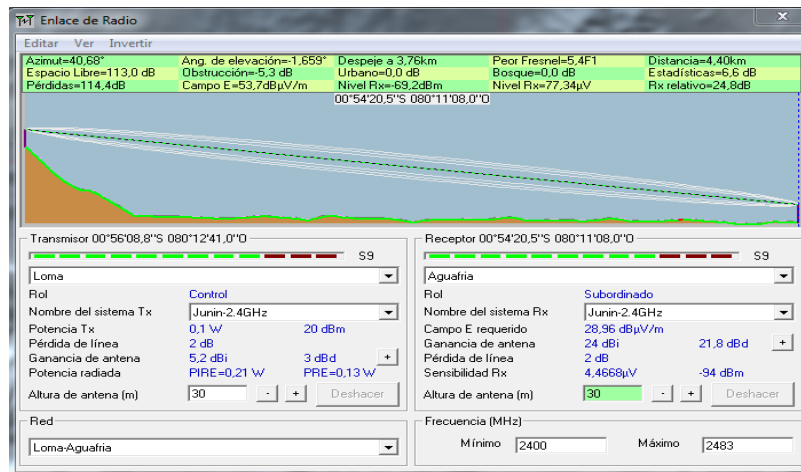
### 4.3.2. Enlace Loma-Aguafría.

La Tabla 4.3 muestra los parámetros de configuración del enlace Loma-Aguafría, a través de Radio-Mobile, para simular el perfil topográfico de dicho enlace punto a punto.

**Tabla 4.3** Configuración, enlace Loma-Aguafría, mediante Radio-Mobile.

N°	Detalle	Valores
1	Antena Rockedish-2G23	24 dBi ganancia
2	Distancia Loma_Junín-Aguafría	4,4 km
3	Azimut norte verdadero	43,85°
4	Azimut Norte Magnético	45,28°
5	Angulo de elevación	-1,9951°
6	Variación de altitud	167,5 m
7	Modo de propagación	línea de vista
8	Mínimo despeje	5,7F1 a 4,2km
9	Frecuencia promedio	2441,5 MHz
10	Espacio Libre	113,8 dB
11	Obstrucción	-6,4 dB
12	Pérdida de propagación total	126,9 dB
13	Ganancia del sistema de Cerro-Junín a Aguafría	162,0 dB
14	Ganancia del sistema de Aguafría a Cerro-Junín	162,0 dB
15	Peor recepción	35,1 dB

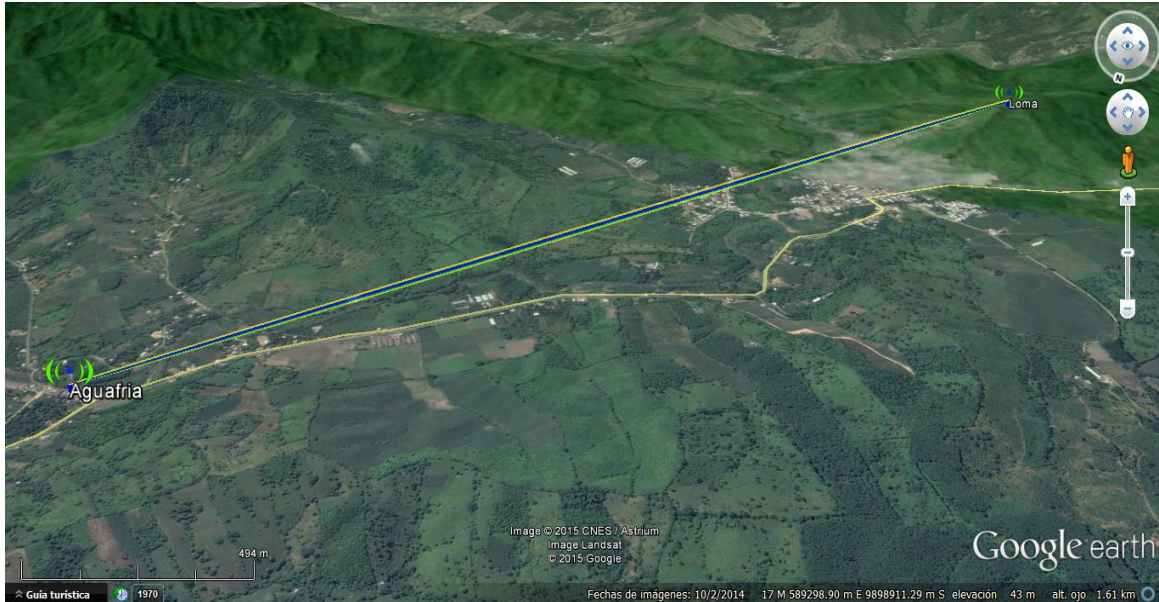
La Figura 4.12 muestra el resultado de la simulación mediante *Radio-Mobile*, correspondiente al enlace Loma-Aguafría.



**Figura 4.12** Perfil topográfico Loma-Aguafría, mediante Radio- Mobile



La Figura 4.13 muestra el enlace Punto a Punto, Loma-Aguafría, mediante Google earth.



**Figura 4.13** Vista del Enlace Loma-Aguafría mediante Google Earth.

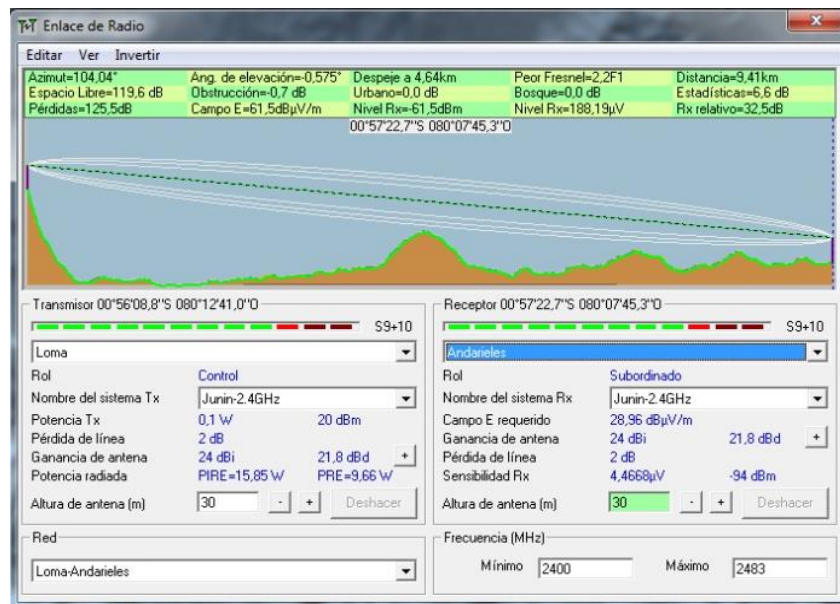
#### 4.3.3. Enlace Loma-Andarieles.

La Tabla 4.4 muestra los parámetros de configuración del enlace Loma-Andarieles, a través de Radio-Mobile, para simular el perfil topográfico de dicho enlace punto a punto.

**Tabla 4.4** Configuración, enlace Loma-Andarieles, mediante Radio-Mobile.

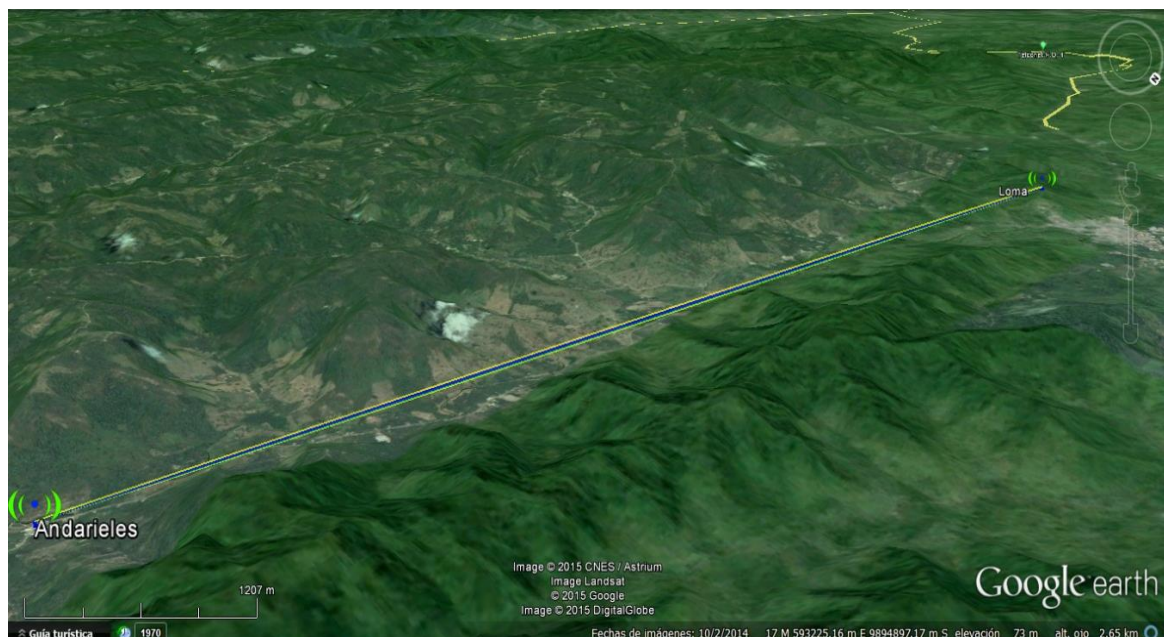
N°	Detalle	Valores
1	Antena Rockedish-2G23	24 dBi
2	Distancia Loma_Junín-Andarieles	ganancia 9,41 km
3	Azimut norte verdadero	102,53°
4	Azimut Norte Magnético	103,95°
5	Angulo de elevación	-0,7896°
6	Variación de altitud	158,0 m
7	Modo de propagación	línea de vista
8	Mínimo despeje	2,1F1 a 7,5km
9	Frecuencia promedio	2441,5 MHz
10	Espacio Libre	120,0 dB
11	Obstrucción	1,4 dB
12	Pérdida de propagación total	128,0 dB
13	Ganancia del sistema de Rep-Junín a Andarieles	162,0 dB
14	Ganancia del sistema de Andarieles a Rep-Junín	162,0 dB
15	Peor recepción	34,0 dB

La Figura 4.14 muestra el resultado de la simulación mediante *Radio-Mobile*, correspondiente al enlace Loma-Andarieles.



**Figura 4.14** Perfil topográfico, Loma-Andarieles, mediante Radio- Mobile.

La Figura 4.15 muestra el enlace Punto a Punto, Loma-Andarieles, mediante Google earth.



**Figura 4.15** Vista del Enlace Loma-Andarieles mediante Google Earth.

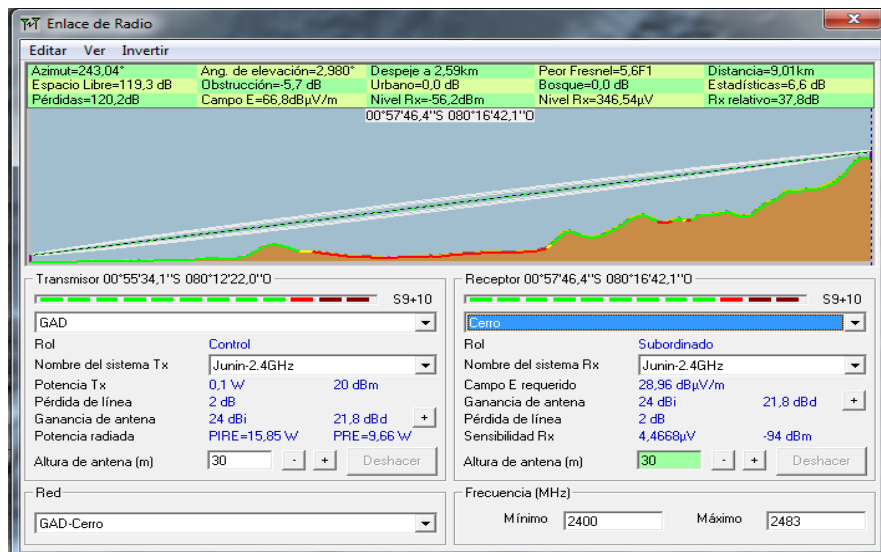
#### 4.3.4. Enlace GAD-Cerro.

La Tabla 4.5 muestra los parámetros de configuración del enlace GAD-Cerro, a través de *Radio-Mobile*, para simular el perfil topográfico de dicho enlace punto a punto.

**Tabla 4.5** Configuración, enlace Loma-Andarieles, mediante Radio-Mobile.

N°	Detalle	Valores
1	Antena Rockedish-2G23	24 dBi ganancia
2	Distancia Municipio-Cerro_Junín	9,01 km
3	Azimut norte verdadero	243,95°
4	Azimut Norte Magnético	245,39°
5	Angulo de elevación	2,9559°
6	Variación de altitud	484,1 m
7	Modo de propagación	línea de vista
8	Mínimo despeje	3,6F1 a 2,6km
9	Frecuencia promedio	2441,5 MHz
10	Espacio Libre	119,2 dB
11	Obstrucción	-4.7 dB
12	Pérdida de propagación total	121,2 dB
13	Ganancia del sistema de Cerro-Junín a Municipio	162,0 dB
14	Ganancia del sistema de Municipio a Cerro-Junín	162,0 dB
15	Peor recepción	40,8 dB

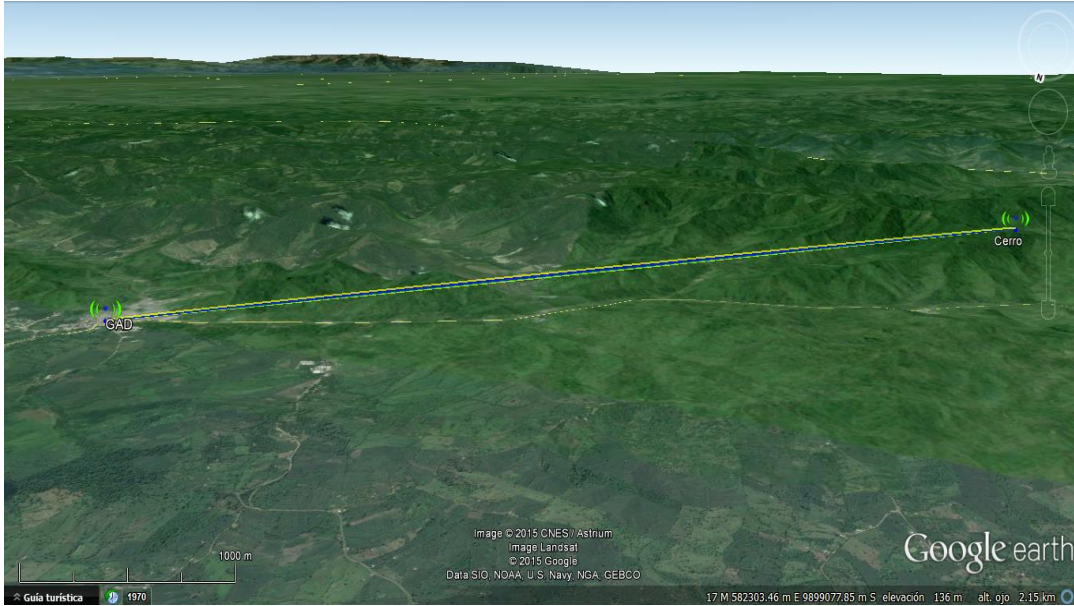
La Figura 4.16 muestra el resultado de la simulación mediante *Radio-Mobile*, correspondiente al enlace GAD-Cerro.



**Figura 4.16** Perfil topográfico, GAD-Cerro, mediante Radio- Mobile



La Figura 4.17 muestra el enlace Punto a Punto, GAD-Cerro, mediante Google earth.



**Figura 4.17** Vista del Enlace GAD-Cerro mediante Google Earth.

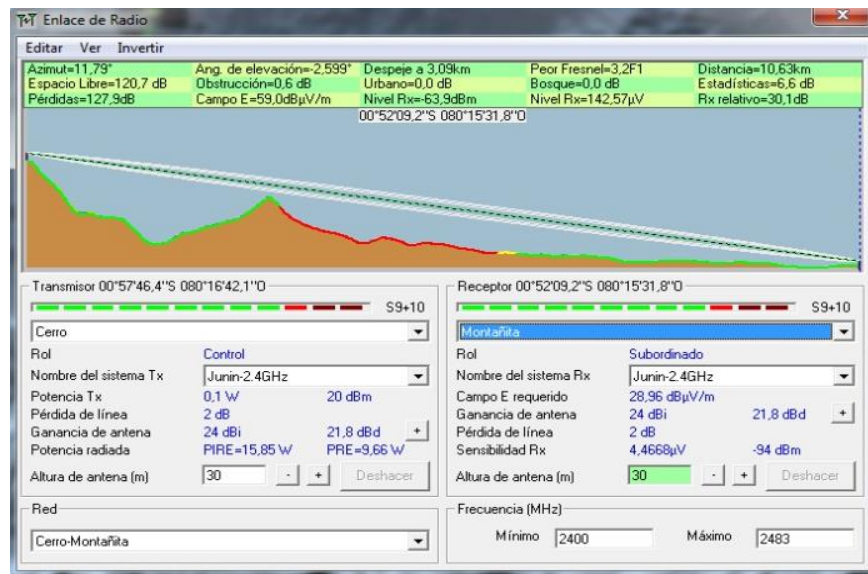
#### 4.3.5. Enlace Cerro-Montañita.

La Tabla 4.6 muestra los parámetros de configuración del enlace Cerro-Montañita, a través de Radio-Mobile, para simular el perfil topográfico de dicho enlace punto a punto.

**Tabla 4.6** Configuración, enlace Cerro-Montañita, mediante Radio-Mobile.

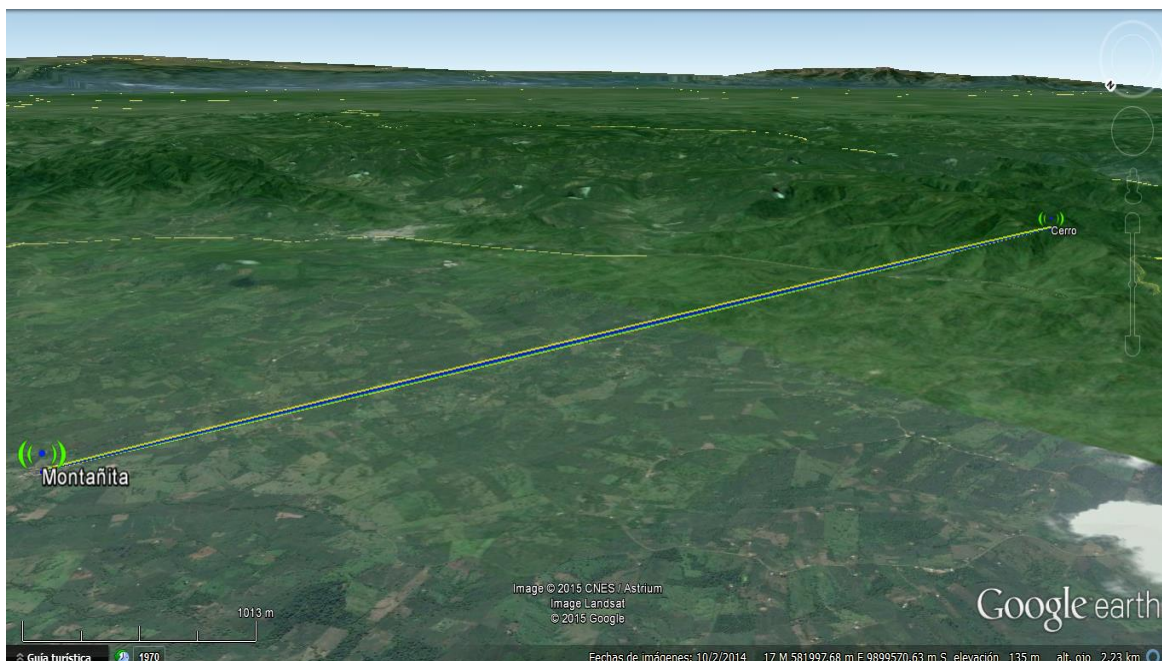
N°	Detalle	Valores
1	Antena Rockedish-2G23	24 dBi ganancia
2	Distancia Cerro_Junín-Montañita	10,63 km
3	Azimut norte verdadero	11,79°
4	Azimut Norte Magnético	13,16°
5	Angulo de elevación	-2,5992°
6	Variación de altitud	472,0 m
7	Modo de propagación	línea de vista
8	Mínimo despeje	3,2F1 a 3,1km
9	Frecuencia promedio	2441,5 MHz
10	Espacio Libre	120,7 dB
11	Obstrucción	0,6 dB
12	Pérdida de propagación total	127,9 dB
13	Ganancia del sistema de Cerro-Junín a Montañita	162,0 dB
14	Ganancia del sistema de Montañita a Cerro-Junín	162,0 dB
15	Peor recepción	34,1 dB

La Figura 4.18 muestra el resultado de la simulación mediante *Radio-Mobile*, correspondiente al enlace Cerro-Montañaña.



**Figura 4.18** Perfil topográfico, Cerro-Montañaña, mediante *Radio-Mobile*

La Figura 4.19 muestra el enlace Punto a Punto, Cerro Montañaña, mediante Google earth.



**Figura 4.19** Vista del Enlace Cerro-Montañaña mediante Google Earth .

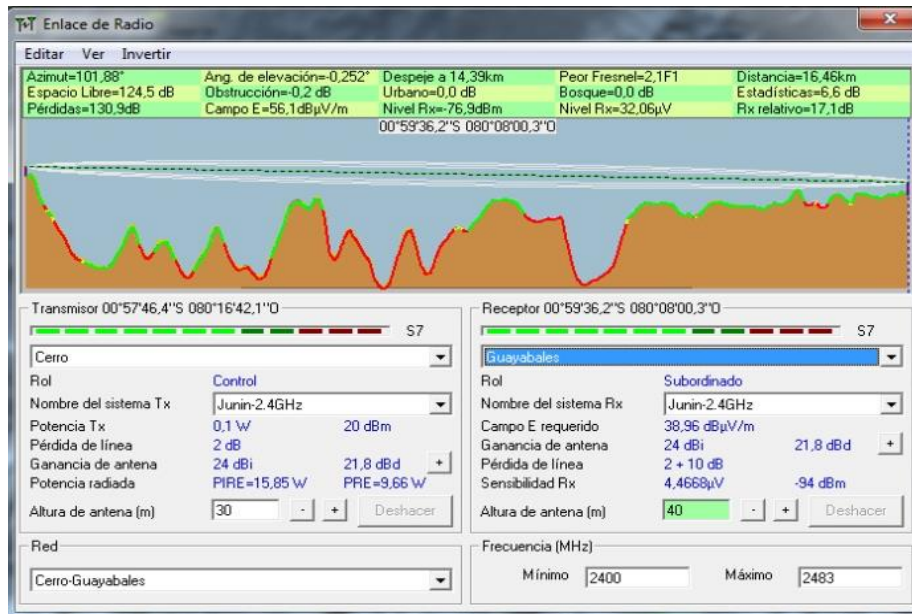
#### 4.3.6. Enlace Cerro-Guayabales.

La Tabla 4.7 muestra los parámetros de configuración del enlace Cerro-Guayabales, a través de Radio-Mobile, para simular el perfil topográfico de dicho enlace punto a punto.

**Tabla 4.7** Configuración, enlace Cerro-Montañita, mediante Radio-Mobile.

N°	Detalle	Valores
1	Antena Rockedish-2G23	24 dBi ganancia
2	Distancia Cerro_Junín-Guayabales	16,46 km
3	Azimut norte verdadero	101,88°
4	Azimut Norte Magnético	103,26°
5	Angulo de elevación	-0,2516°
6	Variación de altitud	399,7 m
7	Modo de propagación	línea de vista
8	Mínimo despeje	2,1F1 a 14,4km
9	Frecuencia promedio	2441,5 MHz
10	Espacio Libre	124,5 dB
11	Obstrucción	-0,2 dB
12	Pérdida de propagación total	130,9 dB
13	Ganancia del sistema de Cerro-Junín a Guayabales	162,0 dB
14	Ganancia del sistema de Guayabales a Cerro-Junín	162,0 dB
15	Peor recepción	31,1 dB

La Figura 4.20 muestra el resultado de la simulación mediante *Radio-Mobile*, correspondiente al enlace Cerro-Guayabales.



**Figura 4.20** Perfil topográfico, Cerro-Guayabales, mediante *Radio-Mobile*.



La Figura 4.21 muestra el enlace Punto a Punto, Cerro-Guayabales, mediante Google earth.



**Figura 4.21** Vista del Enlace Cerro-Guayabales mediante Google Earth.

#### 4.4. Propuesta de equipos para los enlaces

En el mercado existe una gama amplia de *routers* inalámbricos con características similares, sus diferencias radican en la potencia de transmisión, sensibilidad en la recepción, costos, y la más importante, el mecanismo de control de acceso al medio, nos referimos a la subcapa MAC, el estándar original IEEE 802.11 propuso CSMA para controlar el acceso al medio, hace varios años, se le agregó una mejora CA (*Collision Avoidance*), que es la base de *Ethernet*; es decir: CSMA/CA. Otro tipo de control de acceso al medio es TDMA (*Time Division Multiplex Acces*) lo utilizan marcas propietarias como: *Mikrotik*<sup>8</sup>, *Ubiquiti*<sup>9</sup>, *Cambium Networks*<sup>10</sup>, otros.

---

<sup>8</sup> <http://routerboard.com/>

<sup>9</sup> <https://www.ubnt.com/products/>

En este caso de estudio se propone el uso de tecnología WiFi con el mecanismo de control de acceso al medio (CSMA/CA) , de acuerdo al estándar original. Los equipos propuestos deben trabajar con esta técnica de control, ello permitirá modificar parámetros de la capa MAC (*CTSTimeout*, *SlotTime*, *ACKTimeout*) necesarios para realizar una transmisión de datos en enlaces de larga distancia.

Hay varios casos de éxito usando este tipo de equipos con tecnología WiFi, uno de ellos es el grupo EHAS<sup>11</sup> en Perú, han realizado varias redes rurales en la Amazonía, con enlaces de varios kilómetros de distancia, para telemedicina.

De esta forma se justifica el uso de una placa embebida ALIX3d3, con una tarjeta inalámbrica UbiquitiXR2 que soportan drivers Mad-WiFi, el mismo que permite la modificación de los parámetros de la capa MAC para poder realizar enlaces a largas distancias y un sistema operativo VOYAGE de la distribución de *Debian* Linux, tan ligero (su tamaño es mínimo) que se instala en un Compact Flash. En conjunto estos dispositivos son: económicos, compatibles, se acoplan e incrustan en una caja resistente a diferentes tipos de climas, dando como resultado un router inalámbrico apropiado, para la realización a futuro de este proyecto.

Para la implementación de la red WiFi rural de Junín se proponen los siguientes equipos:

---

<sup>10</sup> <http://www.cambiumnetworks.com/products/ptp>

<sup>11</sup> <http://www.ehas.org/que-hacemos/investigacion-y-desarrollo/sistemas-wifi/>

#### 4.4.1. Hardware.

##### 4.4.1.1. Antena.

La antena considerada para el diseño de la red WiFi es la Hyperlink Grillada direccional con una ganancia de 24 dBi, esta trabaja en la frecuencia 2.4 GHz.

La Figura 4.22 muestra la antena propuesta en el diseño de la red WiFi Rural de Junín.



**Figura 4.22** Antena Hyperlink  
HG2424G.

La aleación del metal de la antena cuenta con una fundición de aluminio reflectora para una buena Recepción, es fácil de instalar. La superficie de la rejilla utiliza un revestimiento compuesto de un polvo UV, brindando mayor durabilidad y mejorando la estética. El diseño de marco de la rejilla es abierto minimiza la carga del viento.

La antena HG2424EG se suministra con una inclinación de 60 grados y el kit de montaje para el mástil es giratorio. Esto permite la instalación en varios grados de inclinación para facilitar la alineación del haz. Se puede ajustar hacia arriba o hacia abajo de 0 ° a 60 °. En el *Anexo C* se muestran más detalle de este equipo.

Este tipo de antenas es compatible con el *router* inalámbrico propuesto en el presente diseño, incluye un conector N hembra para el cable coaxial (*pigtail*) que se conecta con la tarjeta inalámbrica.

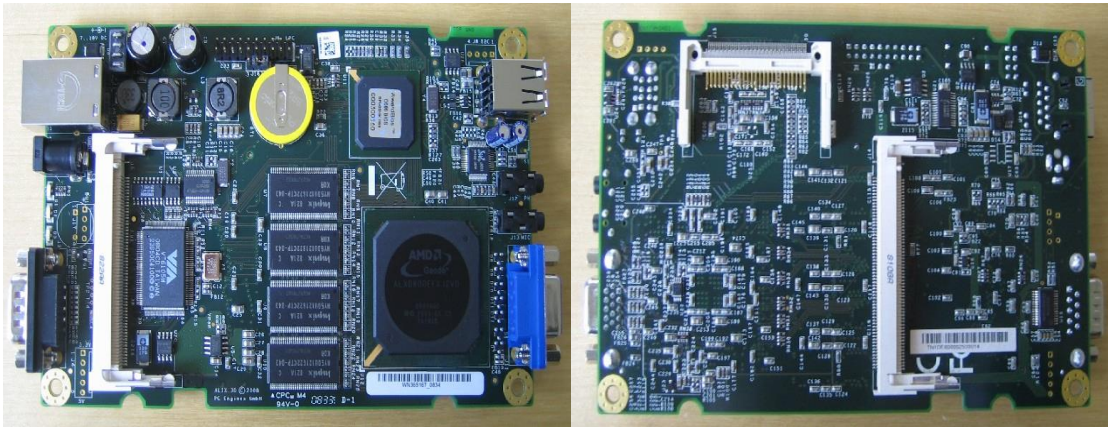
#### **4.4.1.2. Placa embebida Alix.**

ALIX es un ordenador embebido, parte de los equipos a utilizar en el diseño de la red WiFi. Fabricada por la compañía *PCEngines*, utilizada para el ensamblaje de routers inalámbricos.

Se seleccionó este tipo de tarjeta, por las bondades que posee, entre las principales tenemos soporte de sistema operativo GNU/Linux en los modos disponibles como son Maestro, Cliente, Bridge y Punto de Acceso (AP), permite trabajar con dos tipos de chipsets (Atheros e Intersil Prism 2.5) los mismos que utilizan drivers Mad-WiFi y Hostap respectivamente. Otra característica es su potencia de Transmisión, la sensibilidad de recepción, su costo es mínimo comparado con otras placas.

El estándar 802.11 y sus principales versiones fueron pensados para ambientes indoor con distancias no mayores a 100 m, dispositivos inalámbricos como ALIX permiten modificar de manera manual los parámetros como: *SlotTime*, *ACKTimeout* y *CTSTimeout*, necesarios para realizar enlaces de largas distancias.

La Figura 4.23 muestra el enrutador inalámbrico propuesto para la presente investigación, el *Anexo C* se presenta las características del enrutador inalámbrico Alix3d3.



**Figura 4.23** Enrutador Inalámbrico Alix3d3/ PC Engines.

#### **4.4.1.3. Tarjeta Inalámbrica.**

La tarjeta WiFi escogida se basa en la compatibilidad con el enrutador inalámbrico y la antena, y lo más importante que es la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción de acuerdo a la normativa legal vigente en cuanto a los límites permitidos de la propagación de las ondas radioeléctricas, está enmarcada en la *Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha*<sup>12</sup>.

La tarjeta inalámbrica con chipset Atheros XR2 de la familia de Ubiquiti, trabaja en la frecuencia 2.4 GHz (Banda ISM), permite hasta 600 mW de potencia de transmisión, compatible con los estándares 802.11b y 802.11g. El tipo de tarjeta es Mini-PCI utiliza un conector Pigtail MMCX, esta tarjeta es adaptable al enrutador inalámbrico Alix3d3.

El chipset utiliza el driver Mad-WiFi, permite la instalación de Sistema Operativo Linux, necesario para la modificación manual de los valores de la capa MAC, de acuerdo a las

<sup>12</sup><http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/11/Sistemas-de-Modulacion-Digital-de-Banda-Ancha.pdf>



distancias de los enlaces. En el *Anexo C* se presentan más características técnicas de este dispositivo electrónico.

La Figura 4.24 muestra la tarjeta WiFi propuesta para los enlaces de la red WiFi rural de Junín.



**Figura 4.24** Tarjeta Ubiquiti Atheros XR2 MiniPCI.

#### **4.4.1.4. Compact Flash**

Es un dispositivo de almacenamiento de datos, emula a un disco duro, es compatible con la tarjeta Alix, la misma que posee un socket de 3.3 mm para insertar este tipo de dispositivo electrónico.

La figura 4.25 muestra una tarjeta compact flash de 44 pines.



**Figura 4.25** Compact Flash

#### **4.4.1.5. Cable Pigtail.**

Es un cable coaxial, con conectores necesario para la conexión entre la antena y la tarjeta inalámbrica acoplada en el router, dicho cable no posee mucho revestimiento son delgados, vulnerables a la atenuación de la señal, por ello se recomienda utilizar el pigtail lo más corto posible, no hay que exceder los 30 cm.

La Figura 4.26 muestra un cable pigtail con dos conectores, un extremo es N macho y el otro MMCX macho, van conectados, uno al conector N hembra de la antena y el otro al conector MMCX hembra de la tarjeta inalámbrica.



**Figura 4.26 Cable coaxial (Pigtail  
N macho MMCX macho)**

#### **4.4.1.6. Caja para exteriores.**

Un elemento importante en el diseño del *router* inalámbrico para exteriores es sin duda la caja, justo allí es donde se alojarán los componentes ensamblados en lo alto de las torres, por lo que esta caja debe ser de un material resistente, impermeable que soporte altas temperaturas, y

condiciones adversas del clima, como viento fuertes, lluvias constantes, por esta razón es necesario mantener en resguardos los dispositivos electrónicos

La figura 4.27 muestra una caja impermeable, cuyo interior modela una tarjeta alix con todos sus componentes acoplados.



**Figura 4.27 Caja impermeable para exteriores.**

#### **4.4.2. Voyage.**

Sistema Operativo de la distribución de Debian GNU/Linux, este software es compatible con la placa embebida PC Engines ALIX 3d3 y con su tarjeta inalámbrica Atheros XR2 [20], existen otros fabricantes y series de placas compatibles con esta distribución de Linux: *Soekris* 45xx / 48xx / 65xx y las placas basada en Atom.

*Voyage*, también puede funcionar sobre plataformas de gama baja x86 PC. Una instalación típica requiere 256 MB de espacio en la memoria, S.O. *Voyage* está disponible en arquitectura i386 y AMD64. Entre más almacenamiento exista se pueden incluir más paquetes (drivers) en la instalación. Este sistema operativo es tan pequeño que es apropiado para el funcionamiento del router inalámbrico.

Este sistema operativo se instala en la memoria del Compact Flash, permite mediante comando ssh, o por el puerto serial (consola), modificar manualmente los valores de *ACKTimeout*, *SlotTime* y *CTSTimeout*, parámetros necesarios para la configuración de la red WiFi rural de acuerdo a las distancias establecidas.

#### **4.4.3. Planos del Diseño de las Torres.**

De acuerdo a la “*ordenanza que regula la utilización u ocupación del espacio público o la vía pública y el espacio aéreo municipal, suelo y subsuelo, por la colocación de estructuras, postes y tendidos de redes pertenecientes a personas naturales o jurídicas privadas*”, publicada en el Segundo Suplemento del Registro Oficial N° 283 [21], de fecha lunes 7 de julio de 2014; en su artículo 16 (*Infraestructura Compartida*), obliga a los operadores de redes de comunicaciones, a compartir sus estructuras de soporte, por razones urbanísticas, ambientales o paisajísticas. Con esta premisa es posible utilizar la estructura de soporte de la torre de Otecel o Conecel, en la Loma de Junín, punto estratégico en el diseño, ya que se utilizará como nodo repetidor, hacia los nodos esclavos Andarieles y Aguafría.

El otro caso corresponde al nodo repetidor el Cerro de Junín, allí se encuentra una estructura de soporte fortificada para las comunicaciones de la Empresa del Estado CNT, quien también pudiere compartir su estructura y ahí de esta forma, colocar las antenas para replicar la comunicación hacia los nodos esclavos Montañita y Guayabales. Si se considerara esta sugerencia, se ahorraría dinero en la futura implementación del diseño de la red WiFi Rural de Junín.

Estos nodos repetidores son los puntos con mayor elevación en el diseño de la red WiFi, el nodo central (maestro), estará ubicado en la parte alta del edificio de GAD Municipal, que en la actualidad tiene dos plantas, además de la cubierta.

En el caso de los nodos esclavos se ubicarán de acuerdo al diseño topográfico presentado en el presente estudio.

#### ***4.4.3.1. Torres Ventadas.***

La torre de comunicaciones tipo dipolo ventada se caracteriza por ser modular y de sección constante, para instalarse necesitan de cables tensores (denominados vientos) para soportarse. Si su sección es triangular, utilizarán tres direcciones de viento cada 120°, si su sección es cuadrada utilizaran cuatro direcciones cada 90°, dependiendo de su altura las triangulares utilizaran 3, 6, y 9 anclajes, las torres cuadradas son recomendables hasta los 60m. Dependiendo del grado de estabilidad exigida a la torre para el servicio que presten, (tanto en su movimiento vertical o rotacional) necesitaran de estabilizadores.

La elevación de las torres para los nodos esclavos, debe ser al menos 30 metros, ya que en el sector rural hay que considerar la altura de los árboles (vegetación), los mismos que pueden generar interferencia en la comunicación entre los enlaces. Dichas torres sostendrán las antenas de los enlaces de internet de la red WiFi Rural de Junín.

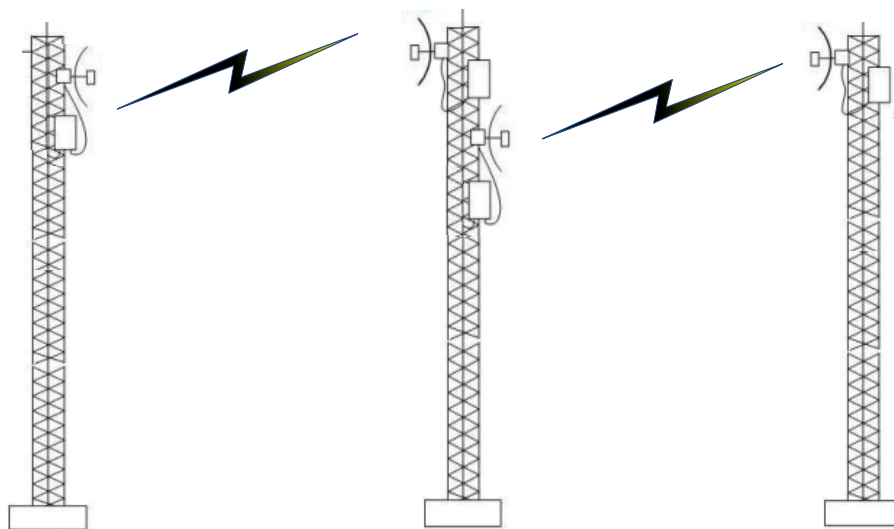
Las torres venteadas son mucho más económicas pero ocupan un área considerable, ya que los vientos deben estar anclados a una distancia de la base que es por lo menos la tercera parte de la altura.



#### 4.4.3.2. Montajes de los equipos en la torre.

Luego de establecer los lugares para el diseño de la red WiFi rural de Junín, lugar donde se podrá realizar la implantación de las torres, en lo alto se realizará el montaje de los equipos, las antenas direccional, los *Routers* inalámbricos, ubicados en una caja protectora para exteriores, a pocos centímetros de la antena, ya que el cable coaxial conectado desde la antena, al puerto de la tarjeta ALIX, por problemas de atenuación debe estar a menos de 2 metros.

En el caso de nodos repetidores hay que ubicar las antenas de manera equidistantes en la Figura 4.29 se muestra un diseño de un enlace Maestro-Repetidor-Esclavo con la ubicación de las antenas alineadas punto a punto y en el nodo repetidor equidistantes.



**Figura 4.29** Esquema Maestro-Repetidor-Esclavo

Para la alineación de las antenas direccionales, utilizadas para enlaces de largas distancias, es necesario el ángulo de elevación y el azimut respectivo. Para ello se precisa el uso de herramientas como: GPS, Brújulas, Softwares (Radio-Mobile), radio comunicadores entre otros.

#### 4.5. Seguridad en Comunicaciones Inalámbricas

Para resolver los problemas de seguridad que presenta una red inalámbrica primero hay que poder, por un lado, garantizar el acceso mediante algún tipo de credencial a la red y por otro garantizar la privacidad de las comunicaciones aunque se hagan a través de un medio inseguro, en este contexto existen varios objetivos que buscan la seguridad en las comunicaciones inalámbricas:

- **Confidencialidad:** los datos son protegidos frente a la intersección de personas no autorizadas.
- **Integridad:** se garantiza que los datos no sean modificados.
- **Autenticación:** Garantizar que los datos vienen de orígenes confiables.
- **Autorización y Control de Acceso:** Ambas se implementan sobre autenticación.

Las redes inalámbricas a diferencia de las cableadas presentan vulnerabilidades. Hay debilidades en la configuración de los equipos, muchos administradores dejan los (*passwords*) por (*default*) y no los cambian.

Hay debilidades en cuanto a políticas, si no hay reglas claras, los usuarios pueden instalar sus propios dispositivos.

En algunas redes inalámbricas se controla en los *APs*, el acceso a nivel de clientes ingresando las direcciones *MAC* permitidas, es importante aclarar que esta medida de seguridad no está



especificada en el estándar 802.11. Un (*sniffer*) puede encontrar rápidamente los parámetros como (*SSID* y dirección *MAC*), por lo tanto no es una medida segura.

Wired Equivalent Privacy (WEP) Privacidad Equivalente a Cable, es un sistema que forma parte del estándar 802.11 [22] desde sus orígenes. Es el sistema más simple de cifrado, y lo admiten en su totalidad los adaptadores inalámbricos. El cifrado *WEP* en sus inicios tenía una llave de 40 bits en la actualidad existen de 64 y 128 bits, se aplica en la capa MAC del adaptador de red inalámbrico o en el punto de acceso.

*WEP* está basada en *RC4* (*Rivest Cipher 4*), opción de llave simétrica, tanto el *AP* como la estación deben conocer /tener la llave *WEP*.

Cada clave consta de dos partes, una de las cuales la tiene que configurar el usuario/administrador en cada uno de los adaptadores red, la otra parte se genera automáticamente y se denomina vector de inicialización (*IV*) 24 bits. El objetivo del vector de inicialización es obtener claves distintas para cada trama. La llave de 40 bits se combina con los 24 bits del vector de inicialización (*IV*) para crear una llave *RC4* de 64 bits.

Las debilidades de WEP en la **privacidad** se basan en que, por un lado, las claves permanecen estáticas y por otro lado los 64 bits, incluidos los bits de *IV*, el tamaño era inadecuado, luego la industria decidió utilizar una llave de 128 bits, igual se mantenía la debilidad.

En **autenticación**, las dos partes deben compartir una llave secreta (*shared key Authentication*) que nadie más la conozca, se definió un protocolo que utiliza esta llave para autenticación mutua, el cual tiene una serie de problemas vulnerable a ataques “*man-in-the-middle*”.

#### **4.5.1. IEEE 802.11 i.**

Las especificaciones del TG (*Task Group*) 802.11i [23], plantearon la solución a las vulnerabilidades de la seguridad WEP, consiste en establecer un sistema dinámico de claves sin necesidad de intervención del administrador y con este propósito se establece el estándar IEEE 802.11i.

El estándar IEEE 802.11i, incluye protocolos de gestión de claves, mejoras de cifrado y autenticación con la inclusión de la arquitectura IEEE 802.1x, paralelamente aparece WPA (*WiFi Protected Access*) promulgado por la alianza WiFi, el mismo que se basa en el estándar 802.11i, es la evolución de WEP.

La arquitectura de 802.11i contempla tres aspectos:

**Autenticación:** requiere el uso de un AS (*Authentication Server*), como lo es un servidor *Radius*, para definir un intercambio entre un usuario y el AS, lo que produce autenticación mutua y la generación temporal de llaves entre la estación y el AS.

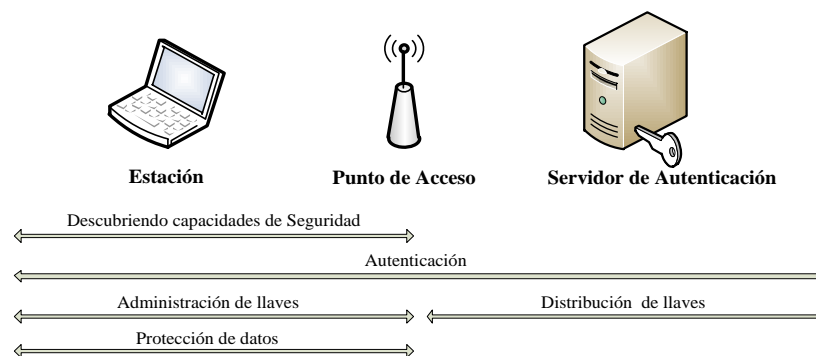
**Control de acceso:** obliga autenticarse, enruta los mensajes adecuadamente, facilita el intercambio de llaves, trabaja con una variedad de protocolos de autenticación, algunos privativos.

**Privacidad en la transferencia de datos:** se encriptan los datos a nivel de MAC (*LLC PDU*), utiliza AES (*Advance Encryption Standar*), usa llaves de 128 bits, incluye un esquema basado en RC4.

### Operación con 802.11 i

- Intercambio entre una estación y un *AP* para acordar con el conjunto de característica a usarse en cuanto a seguridad.
- Intercambio entre *AS* (*Server Authentication*) y la estación para el proceso de autenticación, usa una base de datos para comparar las credenciales de acceso.
- *AS* distribuye las llaves al *AP*, que a su vez administra y distribuye las llaves a las estaciones.
- Encriptación se usa para proteger la transferencia de datos entre la estación y el *AP*.

La Figura 4.30 muestra las fases de operación del Estándar 802.11i



**Figura 4.30** Fases de Operación del Estándar 802.11 i.

### 4.5.2. IEEE 802.1x.

La arquitectura de 802.11i, soporta 802.1x, fue aprobado por la IEEE, es un estándar diseñado para proveer funciones de control de acceso para redes alámbricas y sobre todo las inalámbricas [24]. El *AP* (Autenticador) actúa como interfaz entre un cliente (solicitante) y un *AS* (Servidor de Autenticación) como lo es *RADIUS* (*Remote Acces Dial-In User Service*).

802.1x proporciona un sistema de control de dispositivos de red, de admisión, de tráfico y gestión de claves para dispositivos en una red inalámbrica. Este control de acceso se basa en puertos (*Port-Based Network Access Control*), para cada cliente dispone de un puerto que utiliza para establecer una conexión punto a punto. Mientras el cliente no se ha validado este puerto permanece cerrado. Utiliza los conceptos de puertos controlados y no controlados, cuando trabaja con los puertos no controlados permite el intercambio de *PDU*s entre el solicitante y el *AS*, sin importar el estado de autenticación del solicitante (solo peticiones 802.1x). Con los puertos controlados permite el intercambio de *PDU*s entre un solicitante y otros sistemas en la LAN, solamente si el estado actual del solicitante permite el intercambio.

Para el control de admisión 802.1x, utiliza un protocolo de autenticación denominado *EAP* y para el cifrado de datos *CCMP* y esta combinación se la conoce como *RSN* (*Robust Secure Network*) o también *WPA2*. Es importante indicar que existe hardware que no admite *CCMP*.

#### **4.5.2.1.    *Protocolo de Autenticación EAP.***

**EAP:** (*Extensible Authentication Protocol*) admite distintos mecanismos de autenticación (extensible) como certificados, tarjetas inteligentes, ntlm, Kerberos, ldap, otros. En realidad *EAP*

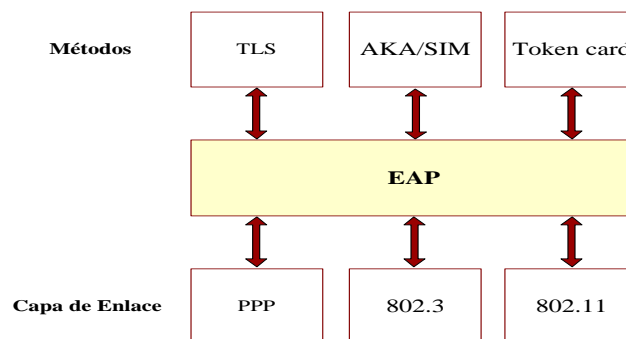
actúa como intermediario entre un solicitante y un motor de validación permitiendo la comunicación entre ambos, es preciso aclarar que *EAP* sólo es el protocolo de transporte optimizado para la autenticación, no el método de autenticación en sí:

Existen múltiples tipos de *EAP*, algunos son estándares y otros son soluciones propietarias de empresas. Entre los tipos de *EAP* se citan varios:

**EAP-TLS:** Es un sistema de autenticación fuerte basado en certificados digitales, tanto del cliente como del servidor, es decir, requiere una configuración *PKI* (*Public Key Infrastructure*) en ambos extremos. *TLS* (*Transport Layer Security*) es el nuevo estándar que sustituye a *SSL* (*Secure Socket Layer*).

**EAP-TTLS:** El sistema de autenticación se basa en una identificación de un usuario y contraseña que se transmiten cifrados mediante *TLS*, para evitar su transmisión en texto limpio. Es decir se crea un túnel mediante *TLS* para transmitir el nombre de usuario y la contraseña. A diferencia de EAP-TLS sólo requiere un certificado de servidor.

**PEAP:** (*Protected EAP*) consiste en un mecanismo de validación similar a EAP-TTLS, basado en usuario y contraseña también protegidos. La Figura 4.31 representa la arquitectura de EAP. }



**Figura 4.31** Arquitectura de EAP.

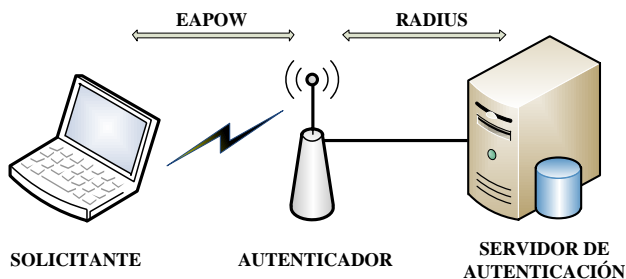
#### 4.5.2.2. Protocolo de Encriptación CCMP.

**CCMP** (*Counter Mode- CBC MAC Protocol*) es un protocolo que utiliza *AES* como algoritmo criptográfico, proporciona integridad y confidencialidad. Se basa en el modo *CCM* del algoritmo de cifrado *AES* y utiliza llaves de 128 bits con vectores de inicialización de 48 bits.

*CCMP* consta del algoritmo de privacidad que es el "Counter Mode" (*CM*) y del algoritmo de integridad y autenticidad que es el "*Cipher Block Chaining Message Authentication Code*" (*CBC-MAC*). *CCMP* es obligatorio sobre *RSN* (*Robust Secure Network*).

Existe un sistema de cifrado opcional denominado *WRAP* (*Wireless Robust Authentication Protocol*) que puede sustituir a *CCMP*.

El intercambio de autenticación se lleva a cabo lógicamente entre el suplicante y un servidor de autenticación, con el autenticador que actúa sólo como un puente. Una derivación de *EAP* es utilizada por el autenticador para realizar preguntas y respuestas de ida y vuelta. Desde el suplicante al autenticador ("*front-end*"), el protocolo es *EAP* sobre LAN (*EAPOL*) o *EAP* sobre Wireless (*EAPOW*). En el "*front back*", el protocolo utilizado es *RADIUS*. En muchos textos se refieren a él como "*EAP sobre RADIUS*." La Figura 4.32 indica lo explicado en este párrafo.



**Figura 4.32** Arquitectura de 802.1x.

#### 4.5.3. Propuesta de Seguridad en la Red WiFi Rural de Junín.

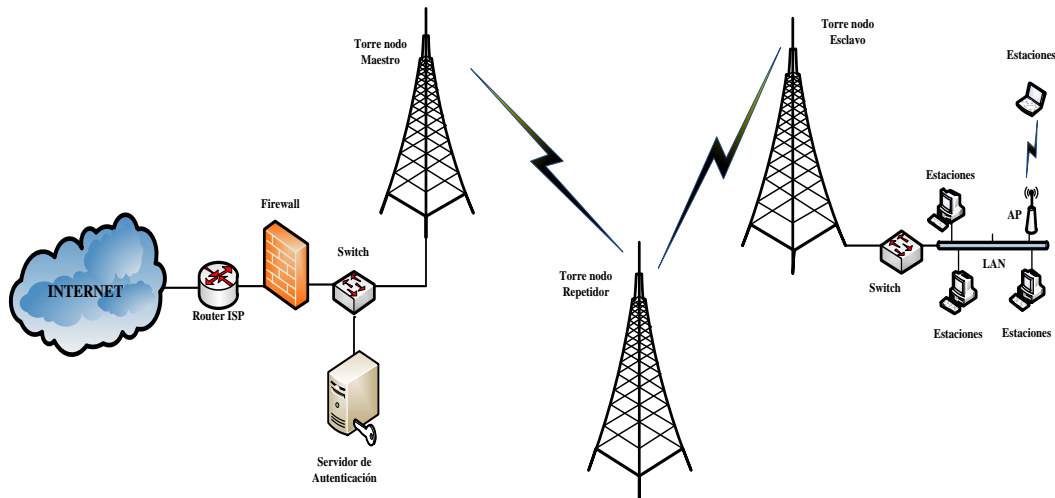
Luego de haber abordado ciertos conceptos que tienen que ver con los estándares, protocolos, arquitecturas y métodos sobre la seguridad en redes inalámbricas y en ciertos casos alámbricas, se propone la siguiente solución para aplicarla en la red WiFi Rural de Junín.

1. Aplicar Políticas en la gestión, control, distribución y uso de las claves de administración de los dispositivos de la red WiFi rural, además de las implementadas en el FIREWALL.
2. Incluir en el diseño de la red WiFi rural de Junín un Servidor de Autenticación (802.1x/ EAP) que permita realizar el control de acceso a la red alámbrica e inalámbrica.

Existen algunas implementaciones de servidores Radius disponibles en el mercado (libres y propietarias), sin embargo, en el presente estudio se propone el uso de (FreeRadius + Mysql), instalado en una distribución de Debian, bajo la licencia GNU/Linux [25].

Este servidor de autenticación, trabaja bajo las condiciones implementadas por el protocolo IEEE 802.1x, soporta mecanismos de autenticación EAP (*Extensible Authentication Protocol*), se emplea no solamente en redes inalámbricas, sino también en sistemas cuyo medio de comunicación son redes cableadas. EAP soporta diferentes tipos de autenticación. FreeRADIUS es usado ampliamente por empresas y varias comunidades académicas. El protocolo de encriptación sería CCMP el cual proporcionará integridad y confidencialidad en la red WiFi rural de Junín.

En la Figura 4.33 se presenta un esquema de como sería implementado en el diseño final, el servidor de autenticación FreeRadius.



**Figura 4.33** Diseño de la Red WiFi Rural con un servidor de Autenticación.

#### 4.6. Calidad de Servicio en la Red WiFi Rural de Junín.

El diseño de la red WiFi Rural de Junín, como una gran parte de las redes inalámbricas debe soportar diferentes tipos de aplicaciones (voz, video, datos, otros.), simultáneamente sobre la misma infraestructura, convirtiéndose en una red convergente.

Los diferentes tipos de tráfico (aplicaciones) tienen diferentes características y requerimientos, por ejemplo: VoIP es sensible al retardo y al jitter. En contraste otras aplicaciones que no son sensibles al retardo o al jitter, es el caso de FTP.

Las Aplicaciones basadas en TCP son tolerantes a la pérdida de paquetes (*packet loss*), a diferencia de la transferencia de paquetes de Voz y Vídeo.

Ciertas fallas en la red pueden afectar a todas las aplicaciones, aplicando correctos mecanismos de redundancia y recuperación deben ser implementados, aunque estos no sean lo suficiente para asegurar el buen desempeño de aplicaciones sensibles como Voz y Video.



Una red convergente tiene mayores retos, los mismos que hay que enfrentar, múltiples flujos compiten por un limitado ancho de banda. Los paquetes tienen que atravesar múltiples dispositivos y enlaces que añaden retardo (*delay*), con distintas cantidades (*jitter*); si el enlace esta congestionado los paquetes pueden ser desechados (*dropping*).

Para un mejor uso del limitado ancho de banda BW, con el fin de disminuir el retardo y la variación del mismo, se pueden aplicar mecanismos adecuados de encolamiento: para ello hay que clasificar y marcar el tráfico.

En una red BE (*Best Effort*) mientras los retardos de serealización y transmisión son fijos los retardos de encolamiento y de procesamiento son impredecibles.

La variación en los tiempos de retardo de los diferentes paquetes que conforman un mismo flujo de dato se denomina jitter. Las causas comunes son:

- ◆ Paquetes de un mismo flujo son procesados, encolados, desencolados de manera independiente y diferente.
- ◆ Esto provoca que cada paquete llegue al destino fuera de secuencia y con un retardo diferente.
- ◆ En las aplicaciones en tiempo real es esencial que en el destino los paquetes lleguen en el orden correcto y con la misma velocidad con la que fue generado.
- ◆ Una solución para el jitter es la utilización de un buffer denominado de-jitter, siempre y cuando la variación de los retardos no sea tan grande.
- ◆ En el destino, el de-jitter recibe los paquetes los re-ordena y los entrega a las aplicaciones de tiempo real con la frecuencia con que fueron emitidos.

La simulación realizada a través de ns2 demostró que los valores de jitter y delay estaban al orden de los milisegundos, es decir que se puede prescindir de la utilización del buffer de-jitter.

La pérdida de paquetes sucede cuando un dispositivo de red no tiene más espacio en sus buffers para retener paquetes entrantes (congestión en el enlace).

Es muy común que cuando se reinicia una interfaz ocasiona perdida de paquetes.

TCP usa un mecanismo de ventana deslizante para enfrentar el problema de perdida de paquetes. Las aplicaciones basadas en el protocolo de transporte UDP reenvían todo el archivo ante una pérdida de paquetes, esta acción en un momento determinado tiende a congestionar la red.

Como reconocemos cuando una red está presentando perdida de paquetes, los síntomas más comunes en los diferentes tipos de transmisión de datos son los siguientes:

**Video conferencia:** La imagen se distorsiona, el audio se desfasa.

**VoIP:** La comunicación se entrecorta (pequeños periodos de silencio).

**Transferencia de Archivos:** Archivos dañados.

La congestión de la interfaz ocasiona desecho de paquetes TCP y VoIP, provocando un flujo FTP lento y una comunicación de voz entrecortada.

Luego de haber abordado ciertos conceptos básicos en el tratamiento de una red podemos definir la Calidad de Servicio.

La calidad de servicio (*QoS*) es la capacidad de una red de proveer una garantía y control en la asignación de recursos y una diferenciación de servicios conforme a las aplicaciones que lo soliciten.

Para poder aplicar QoS en una red, es necesaria la utilización de dispositivos apropiados, que permitan implementar mecanismos de Calidad de Servicio y así controlar el comportamiento de la red, para que esta provea un servicio predecible (nivel de servicio) a las aplicaciones.

La implementación de calidad de servicio requiere de tres pasos:

- Identificar el Tráfico de la red y sus requerimientos,
- Clasificar el tráfico, y;
- Establecer políticas a cada clase.

Existen 3 modelos de QoS.

- Modelo Best-Effort: ningún mecanismo de QoS es aplicado.
- Servicio Integrado (*IntServ*), basado en recursos de red para proveer QoS.
- Servicios Diferenciados (*DiffServ*): la red reconoce las diferentes clases de tráfico y les aplica parámetro de Calidad de Servicio.

**Best Effort**, es que se usa por defecto en la red, no implementa política alguna de QoS, todos los diferentes tipos de paquetes (voz, dato, video, otros.), son tratados con la misma importancia.

**IntServ**, basado en mecanismos de señalización y manejo/reserva de recursos de red, provee garantías de BW (ancho de banda), es un modelo que puede proveer múltiples niveles de servicio (uno por cada flujo-aplicación). Posee varias funciones:

Control de Admisión, Clasificación de tráfico, Vigilancia (*Policing*), Mecanismo de encolamiento (*Queuing*) y la existencia de muchos *Queuing* en una misma interfaz necesitan un planificador (*scheduling*).

**DifServ**, Servicios diferenciados, diferencia el tráfico por clases, es escalable soporta varios niveles de servicio, el nivel de servicio de la clase depende de la marca que posea, utiliza técnicas de control y vigilancia.

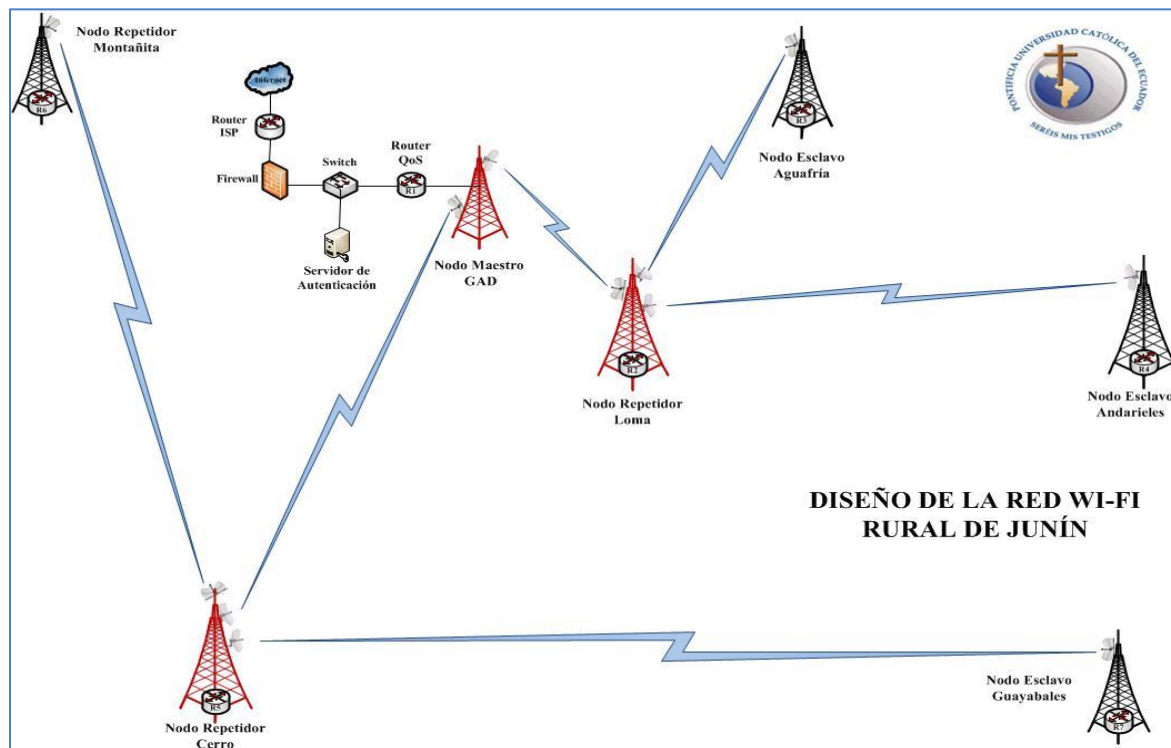
No puede proveer garantía absoluta sobre el nivel de servicio, requiere de la implementación de mecanismos complejos en cada nodo.

#### **4.6.1. Propuesta de QoS en la Red WiFi rural de Junín.**

Aplicar QoS en la red WiFi Rural, demandaría de la utilización de equipos y/o dispositivos que permitan aplicar políticas de manejo de los niveles de servicio, además de técnicas de control y vigilancia; en el mercado existen algunos dispositivos con esta característica, pero elevaría mucho los costos en la implementación a futuro de esta red.

Si se opta por la inclusión de QoS, lo más práctico en este caso sería analizar el tráfico de red en ciertas horas, es decir hacer una auditoria y así determinar cuál es requerimiento de los usuarios y la importancia de las distintas aplicaciones. Para obtener esta información y luego aplicar políticas de Calidad de Servicio, se recomienda la utilización del modelo DiffServ (*DIFFerntiated SERVices*), que es el que brinda mejores condiciones, prioridad relativa de una determinada clase de servicio [26].

Hay equipos propietarios de la marca cisco, que permiten realizar clases de servicio e implementar calidad de servicio en una red inalámbrica, sería ideal la utilización de este dispositivo, pero sin duda alguna su costo es elevado. Su ubicación estaría en el nodo central después del firewall, en la Figura 4.34 se muestra la ubicación en la propuesta del diseño de la Red WiFi rural con QoS.

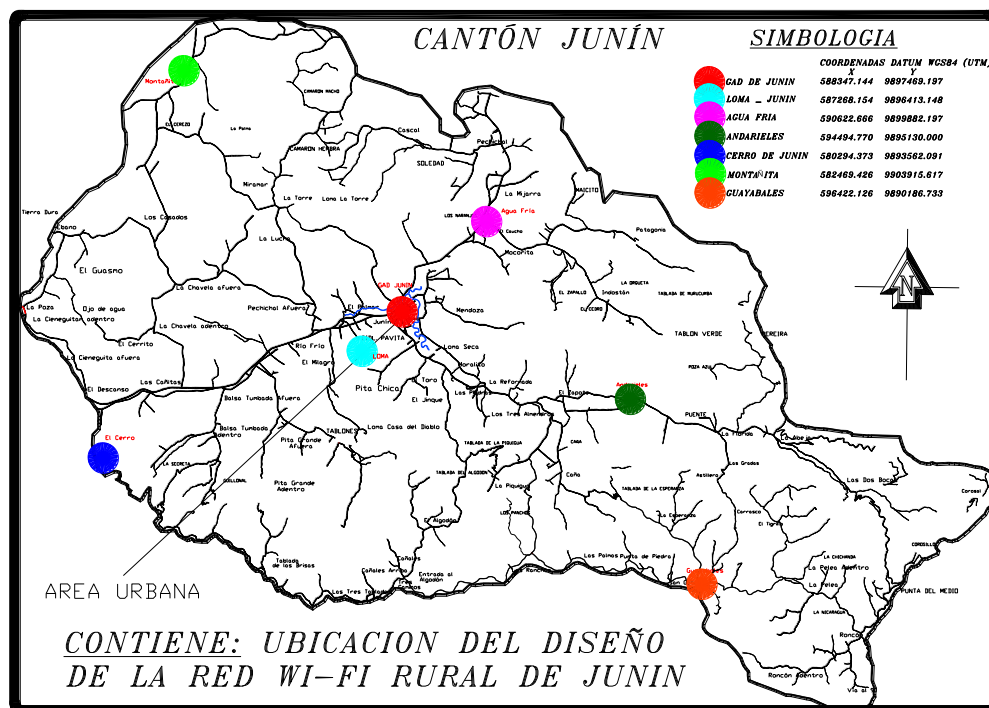


**Figura 4.34 Diseño de la red Wi-Fi con QoS.**

## **4.7. Planos del Diseño de la Red WiFi Rural de Junín**

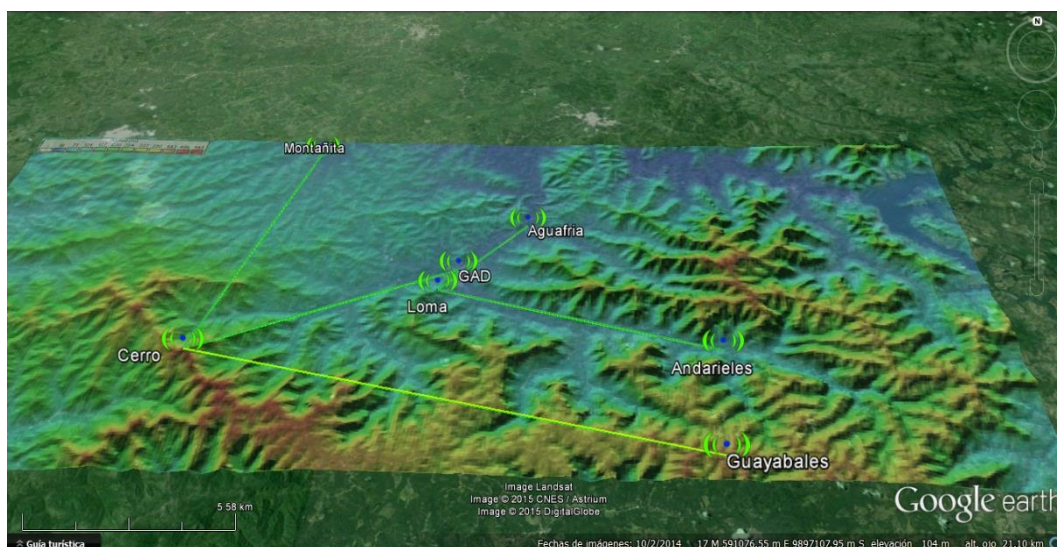
### **4.7.1. Planos de la red WiFi Rural de Junín.**

La Figura 4.35 muestra el plano rural de Junín, con la ubicación de los sitios (georeferenciados), considerados para el diseño de la Red WiFi Rural de Junín.



**Figura 4.35** Ubicación de los enlaces, en el Mapa Rural de Junín.

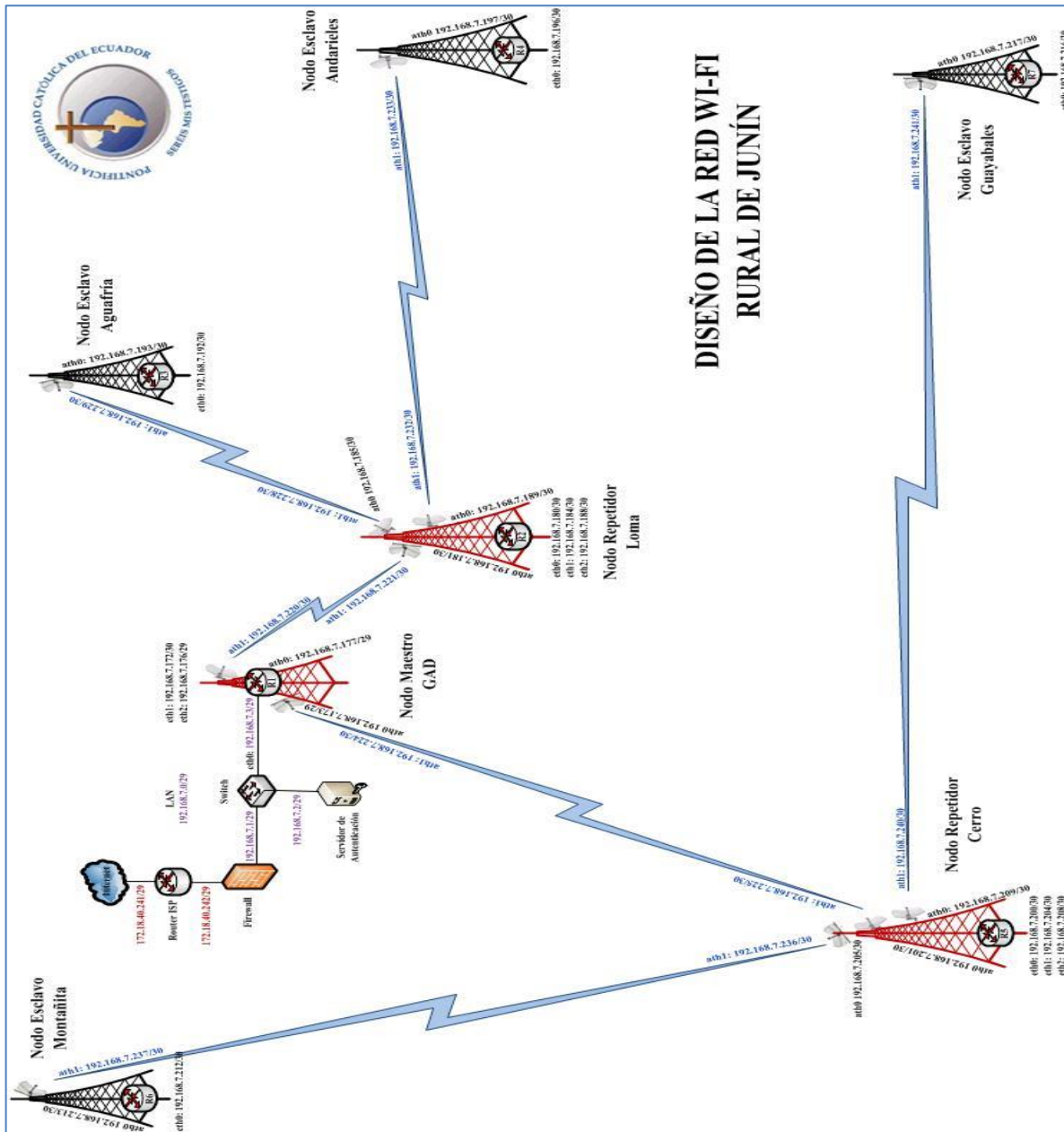
La Figura 4.36 presenta la ubicación de los enlaces (georeferenciados) del diseño, de la Red WiFi Rural de Junín, mediante *Google Earth*, con la sincronización de la aplicación para la simulación topográfica (Radio-Mobile).



**Figura 4.36** Diseño de la red WiFi mediante Google Earth y Radio Mobile

#### 4.7.2. Diseño de la Red WiFi Rural de Junín.

En la Figura 4.37, se modela el diseño definitivo de la Red WiFi de largo alcance a través del espectro no licenciado, para permitir el acceso al servicio de internet, en los sectores más poblados de la zona Rural del cantón Junín.



**Figura 4.37** Diseño de la Red Wi-Fi Rural de Junín.

#### **4.7.2.1. Direccionamiento IP de la Red WiFi Rural de Junín.**

Para evitar el agotamiento de direcciones IPv4, permitiendo un mejor aprovechamiento y optimización del uso de direcciones, se utilizó el *subnetting* con VLSM (*Variable Length Subnet Mask*), máscara variable ó máscara de subred de longitud variable.

*VLSM*, es el resultado del proceso por el cual se divide una red o subred en subredes más pequeñas cuyas máscaras son diferentes según se adaptan a las necesidades de hosts por subred.

A diferencia del (*subnetting*) normal, que genera una máscara común (fija) y cantidad de hosts iguales a todas las subredes, el proceso de VLSM toma una dirección de red o subred y la divide en subredes más pequeñas adaptando las máscaras según las necesidades de clientes de cada subred, generando una máscara diferente para las distintas subredes de una red. Esto permite aprovechar un gran número de direcciones, sobre todo en los enlaces punto a punto.

Hay varios factores a tener en cuenta a la hora de aplicar *subnetting* con VLSM:

- Al igual que en el *subnetting* clásico, la cantidad de subredes y hosts está supeditada a la dirección IP de red o subred que se asigne.
- Es imposible que comprendan el proceso de obtención de VLSM si no manejan fluidamente el proceso de *subnetting*.

En la Tabla 4.8 se muestra el direccionamiento IP de los *routers* y antenas, necesarios en la integración de los enlaces de la red WiFi de largo alcance.



**Tabla 4.8** Direccionamiento IP de la Red WiFi Rural de Junín.

			Routers			Antenas		
NODO			Equipo	eth0	eth1	eth2	ath0	ath1
Maestro	GAD	Router 1	192.168.7.3/29	192.168.7.172/30	192.168.7.176/30			
		Antena1				192.168.7.173/30	192.168.7.220/30	
		Antena2				192.168.7.177/30	192.168.7.224/30	
Repetidor	Loma	Router 2	192.168.7.180/30	192.168.7.184/30	192.168.7.188/30			
		Antena3				192.168.7.181/30	192.168.7.221/30	
		Antena4				192.168.7.185/30	192.168.7.228/30	
Esclavo	Aguafría	Antena5				192.168.7.189/30	192.168.7.232/30	
		Router 3	192.168.7.192/30					
		Antena6				192.168.7.193/30	192.168.7.229/30	
Esclavo	Andarieles	Router 4	192.168.7.196/30					
		Antena 7				192.168.7.197/30	192.168.7.233/30	
		Router 5	192.168.7.200/30	192.168.7.204/30	192.168.7.208/30			
Repetidor	Cerro	Antena8				192.168.7.201/30	192.168.7.225/30	
		Antena9				192.168.7.205/30	192.168.7.236/30	
		Antena10				192.168.7.209/30	192.168.7.240/30	
Esclavo	Montañita	Router 6	192.168.7.212/30					
		Antena11				192.168.7.213/30	192.168.7.237/30	
Esclavo	Guayabales	Router 7	192.168.7.216/30					
		Antena12				192.168.7.217/30	192.168.7.241/30	

#### 4.8. Presupuesto Referencial de la Red WiFi Rural de Junín.

A continuación se modela el presupuesto aproximado de lo que sería la implementación del diseño de la red WiFi para los centros más poblados de la zona rural de Junín.

Los equipos y componentes a utilizar son:

- Dispositivos que conforman el módulo de radio WiFi
- Antena.
- Torre tipo Ventada.
- Enrutadores.
- Switch.
- Servidor de Autenticación.

La Tabla 4.9 muestra los costos aproximados de los componentes y equipos a utilizar en el diseño de la red WiFi.

**Tabla 4.9** Presupuesto de implementación de los enlaces WiFi Rurales

N°	Componentes y Equipos	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Placa Alix3d3	12	150	1800
2	Tarjeta Inalámbrica mini-PCI Atheros XR2 (600mW)	12	60	720
3	Compact Flash de 512 MB	12	30	360
4	Cable Pigtail MMXN-N macho	12	30	360
5	Cable Patch cort cruzado	12	3	36
6	Adaptadores POE 1a2	12	25	300
7	Adaptador CA ac18veur	7	10	70
8	Caja para exteriores	12	60	720
9	Antenas direccionales Hyperlink HG2424G	12	70	840
10	Routers cisco series 800	6	1000	6000
11	Router cisco series 1800 (QoS)	1	3000	3000
12	Torres Ventadas de 30 metros de altura	5	2000	10000
13	Switch	1	500	500
14	Servidor de Autenticación FreeRadius	1	2000	2000
<b>Total</b>				26706

Existen 7 nodos de los cuales uno es maestro, dos repetidores y cuatro esclavos, al nodo principal se le considera en el diseño final un router con mejores características el cual permitirá implementar QoS.

Como son 7 localidades, solo se están considerando la construcción de cinco torres, las dos restantes son los nodos repetidores, ellos pueden utilizar la torre de OTECEL, que justo está ubicada en la loma de Junín y la torre de CNT que está en el Cerro de Junín respectivamente, esto de acuerdo a la ordenanza de uso y ocupación del Suelo aprobada por el consejo municipal del GAD de Junín, la misma que se encuentra vigente, esta norma local, permite al GAD reutilizar torres públicas y privadas por mimetización y otros aspectos técnicos.

El costo aproximado del diseño propuesto ascendería a los \$ 26,706.00 (Veintiséis mil setecientos seis 00/100) Dólares Americanos, sin incluir el valor del IVA,

Luego del análisis de los costos que conllevaría la implementación de la Red rural con tecnología WiFi en Junín, se concluye que la implementación del diseño es viable económicamente; incluso el nivel ejecutivo y legislativo del GAD de Junín podría implementar el proyecto en dos fases, y se planificarían en los Planes Operacionales Anuales, para ejecutarlos en los periodos fiscales siguientes.

#### **4.9. Cálculo de Propagación en el espacio libre**

La propagación es un medio dieléctrico homogéneo, isótropo (se comporta igual en todas las direcciones), mientras este alejado de cualquier obstáculo.

Es el presupuesto de potencia necesario para obtener un radioenlace de larga distancia, es el cálculo de todas las ganancias y pérdidas, desde el transmisor Tx (origen) a través de cables, conectores, antena Tx, espacio libre, antena Rx y cables, conectores hacia el receptor (destino).

##### **4.9.1. Pérdida de propagación.**

La pérdida de propagación se define como la cantidad de señal necesaria para llegar de un extremo de la conexión inalámbrica al otro. O sea, la cantidad de señal que se pierde al atravesar un espacio entre ambos puntos de referencia.

Las señales electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz, incluso tienen la capacidad de traspasar varios obstáculos en función de la frecuencia utilizada.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, en la recomendación UIT-R P.525-2, sugiere se utilicen los métodos que figuran en su anexo 1 [27], para el cálculo de atenuación en el espacio libre.

A continuación se presentan las ecuación utilizada para calcular la atenuación en el espacio libre, en enlaces Punto a Punto (PtP), entre antenas isotrópicas; denominada también por la UIT como, pérdida básica de transmisión en el espacio libre (símbolos;  $L_{bf}$  o  $A_0$ ) de la siguiente manera: Ecuación (4.1)

$$L_{bf} = 20 \log \left( \frac{4\pi * d}{\lambda} \right) \quad dB \quad (4.1)$$

dónde:

$L_{bf}$ : Pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB).

$d$ : Distancia (m).

$\lambda$ : Longitud de onda (m).

Reemplazando los valores en la Ecuación (4.1), en el enlace PtP GAD-Loma, cuya distancia es de 1220 m, a manera de ejemplo tenemos:

$$L_{bf} = 20 \log \left( \frac{(4 * 3,1415) * 1220}{0,125} \right) \quad dB \quad (4.2)$$

$$L_{bf} = 20 \log \left( \frac{15330,97}{0,125} \right) \quad dB \quad (4.3)$$

$$L_{bf} = 20 \log(122647,77) \quad dB \quad (4.4)$$

$$L_{bf} = 20 * (5,0886) \quad dB \quad (4.5)$$

$$L_{bf} = - 101,7 \quad dB \quad (4.6)$$

La ecuación (4.1) puede también escribirse en función de la frecuencia en vez de a longitud de onda, de la siguiente forma: Ecuación 4.7

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad dB \quad (4.7)$$

dónde:

$f$ : Frecuencia (MHz).

$d$ : Distancia (Km).

Utilizando los datos del mismo enlace GAD-Loma y en la frecuencia de 2400 MHz tenemos:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log(2400) + 20 \log(1,22) \quad dB \quad (4.8)$$

$$L_{bf} = 32,4 + (20 * 3,38021) + (20 * 0,08635) \quad dB \quad (4.9)$$

$$L_{bf} = 32,4 + 67,60422 + 1,72719 \quad dB \quad (4.10)$$

$$L_{bf} = - 101,7 \quad dB \quad (4.11)$$

Como se puede observar las ecuaciones (4.1) y (4.7) el resultado es similar valido para el cálculo de la Pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB).

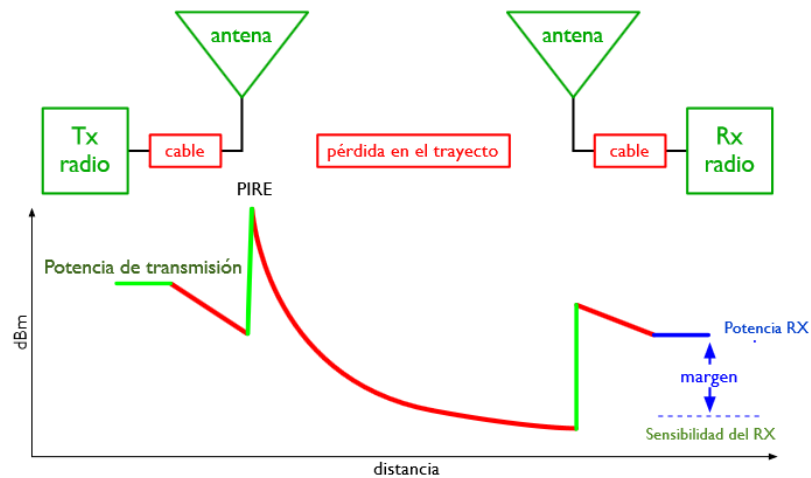
Los resultados de los enlaces se presentan en la tabla 4.9, para ello se utilizó la Ecuación (4.7) en función a la frecuencia.

**Tabla 4.10** Pérdida básica de transmisión en el espacio libre, enlaces red WiFi Rural.

Enlaces	Distancia (Km)	Frecuencia (MHz)	Constante	Log (f)	log (d)	Lbf dB
Gad-Loma	1,22	2400	32,4	3,380211242	0,086359831	101,7
Loma-Aguafría	4,4	2400	32,4	3,380211242	0,643452676	112,9
Loma-Andarieles	9,41	2400	32,4	3,380211242	0,973589623	119,5
GAD-Cerro	9,01	2400	32,4	3,380211242	0,954724791	119,1
Cerro-Montañita	10,36	2400	32,4	3,380211242	1,015359755	120,3
Cerro-Guayabales	16,46	2400	32,4	3,380211242	1,216429831	124,3

#### 4.9.2. Nivel de recepción de la Potencia en la red WiFi rural de Junín.

La Figura 4.38 muestra el nivel de potencia a lo largo de la trayectoria en un radioenlace.

**Figura 4.38** Nivel de la Potencia en la trayectoria de un enlace.

El transmisor produce cierta potencia  $P_t$ . Una pequeña cantidad se pierde en la atenuación  $A_t$  del cable y su conector entre el transmisor y la antena. La antena transmisora enfoca la potencia hacia la dirección deseada, sumando una ganancia  $G_t$  que se utilizó, cuyo valor es de 24 dBi. A la salida de la antena transmisora se tiene el nivel máximo de potencia en todo el enlace. Este nivel se denomina PIRE (Potencia Isotrópica Irradiada Equivalente) y se expresa en dBm.

En la tabla 4.11 se muestran el rango de potencia permitido de acuerdo a las franjas de frecuencia de las bandas ISM, consideradas por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

**Tabla 4.11 Características Técnicas de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha<sup>13</sup>**

Tipo de configuración del Sistema	Banda de Operación (MHz)	Potencia Pico Máxima del tx (mW)	P.I.R.E. (mW)	Densidad de P.I.R.E. (mW/MHz)
punto-punto				
punto-multipunto	902-928	500	.....	.....
móviles				
punto-punto				
punto-multipunto	2400-2483.5	1000	.....	.....
móviles				
punto-punto				
punto-multipunto	5150-5250	50	200	10
móviles				
punto-punto		....	200	10
punto-multipunto	5250-5350	250	1000	50
móviles				
punto-punto				
punto-multipunto	5470-5725	250	1000	50
móviles				
punto-punto				
punto-multipunto	5725-5850	1000	.....	.....
móviles				

La Potencia de Transmisión utilizada en la simulación de los enlaces mediante Radio-Mobile es de 0.1 W, equivalente a 100 mW, se encuentra en los rangos normales permitidos por la legislación ecuatoriana, en la frecuencia de 2.400 MHz, como se lo observa en la tabla 4.11. Es preciso indicar que la tarjeta inalámbrica propuesta permite setear este valor. Para calcular la propagación se debe convertir la potencia *Watts* en dBm, para ello se utiliza la ecuación 4.12:

<sup>13</sup> Anexo 1 de la Resolución-TEL-560-18-CONATEL-2010

$$P_{dBm} = 10 * \log\left(\frac{P_W}{1mW}\right) \text{ dBm} \quad (4.12)$$

Reemplazando tenemos:

$$P_{dBm} = 10 * \log\left(\frac{0,1W}{1mW}\right) \text{ dBm} \quad (4.13)$$

$$P_{dBm} = 10 * \log\left(\frac{100 mW}{1mW}\right) \text{ dBm} \quad (4.14)$$

$$P_{dBm} = 10 * \log(100) \text{ dBm} \quad (4.15)$$

$$P_{dBm} = 10 * 2 \text{ dBm} \quad (4.16)$$

$$P_{dBm} = 20 \text{ dBm} \quad (4.17)$$

Las pérdidas en el espacio es otro parámetro necesario como lo muestra la Figura 4.36, se obtuvieron los valores de todos los enlaces, mediante la Ecuación 4.12, dichos resultados se muestran en la Tabla 4.10.

La antena receptora suministra la ganancia  $G_r$ , para efectos de esta simulación y por la distancia tratada se optó por utilizar la misma ganancia que en la antena transmisora con 24 dBi, mientras que el cable y el conector entre la antena receptora y el receptor induce la atenuación  $A_r$ . Si la potencia  $P_t$  que llega a la entrada del receptor es mayor que la sensibilidad del receptor por un cierto margen M, el enlace es viable.

Para ello modelamos la siguiente Ecuación (4.18) que determinará la viabilidad de los enlaces propuestos.

$$N_{rs} = P_{tx} - A_{cctx} + G_{tx} - L_{bf} + G_{rx} - A_{ccrx} \quad (\text{dBm}) \quad (4.18)$$

Dónde:

$N_{rs}$  = Nivel de la Potencia de recepción de la señal.

$P_{tx}$  = Potencia de Transmisión (dBm).



$A_{cctx}$  = Atenuación de (cable + conector) de transmisión (dB).

$G_{tx}$  = Ganancia de Antena de transmisión (dBi).

$L_{bf}$  = Pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)

$G_{rx}$  = Ganancia de Antena de recepción (dBi).

$A_{ccrx}$  = Atenuación de (cable + conector) de recepción (dB).

**Tabla 4.12** Valores del enlace GAD-Loma, para obtener pérdidas de espacio libre.

Parámetros	Valor	Unidad
$P_{tx}$ =	20	dBm
$A_{cctx}$ =	2	dB
$G_{tx}$ =	24	dBi
$L_{bf}$ =	101,7	dB
$G_{rx}$ =	24	dBi
$A_{ccrx}$ =	2	dB

Remplazando los valores en la Ecuación 4.18, obtenemos lo siguiente:

$$N_{rs} = (20dBm) - (2 dB) + (24 dBi) - (101,7 dB) + (24 dBi) - (2 dB) \quad (4.19)$$

$$N_{rs} = (68 dBm - 4dB) - 101,7 dB \quad (4.20)$$

$$N_{rs} = 64 dBm - 101,7 dB \quad (4.21)$$

$$N_{rs} = -37,7 dBm \quad (4.22)$$

De igual forma para evitar calcular todos los enlaces, solo se realizó como referencia el enlace GAD-Loma, los resultados de cada uno de los enlaces se muestra en la Tabla 4.13.

**Tabla 4.13** Nivel de la Potencia de recepción de la señal, enlaces de la red WiFi.

Enlaces	$P_{tx}$ (dBm)	$A_{cctx}$ (dB)	$G_{tx}$ (dBi)	$L_{bf}$ (dB)	$G_{rx}$ (dBi)	$A_{ccrx}$ (dB)	$N_{rs}$ (dBm)
GAD-Loma	20	2	24	101,7	24	2	-37,7
Loma-Aguafría	20	2	24	112,9	24	2	-48,9
Loma-Andarieles	20	2	24	119,5	24	2	-55,5
GAD-Cerro	20	2	24	119,1	24	2	-55,1
Cerro-Montañita	20	2	24	120,3	24	2	-56,3
Cerro-Guayabales	20	2	24	124,3	24	2	-60,3

### 4.9.3. Margen de los Enlaces de la red WiFi rural de Junín.

El valor de  $M$  (Margen del enlace) determina el grado de confiabilidad del enlace. Este valor debe ser al menos 10 dB y para enlaces más lejanos es mejor apuntar a un margen mayor, para corroborar esta información es necesario tener a la mano el valor del nivel de sensibilidad de la tarjeta inalámbrica propuesta. En este caso es la mini\_PCI XR2 de Ubiquiti con *chipset Atheros*<sup>14</sup> bajo el estándar 802.11 b/g, como la simulación se ha realizado en la banda ISM, 2.4 GHz, se muestra la Figura 4.39, con los valores de la sensibilidad de recepción de dicho receptor inalámbrico.

REGULATORY INFORMATION							
Wireless Modular Approvals			FCC Part 15.247, IC RS210				
RADIO OPERATING FREQUENCY 2412-2462 MHz							
TX SPECIFICATIONS				RX SPECIFICATIONS			
802.11b	DataRate	TX Power	Tolerance	802.11b	DataRate	Sensitivity	Tolerance
	1Mbps	28 dBm	+/-1dB		1Mbps	-97 dBm	+/-1dB
	2Mbps	28 dBm	+/-1dB		2Mbps	-96 dBm	+/-1dB
	5.5Mbps	28 dBm	+/-1dB		5.5Mbps	-95 dBm	+/-1dB
	11Mbps	28 dBm	+/-1dB		11Mbps	-92 dBm	+/-1dB
802.11g OFDM	6Mbps	28 dBm	+/-1dB	802.11g OFDM	6Mbps	-94 dBm	+/-1dB
	9Mbps	28 dBm	+/-1dB		9Mbps	-93 dBm	+/-1dB
	12Mbps	28 dBm	+/-1dB		12Mbps	-91 dBm	+/-1dB
	18Mbps	28 dBm	+/-1dB		18Mbps	-90 dBm	+/-1dB
	24Mbps	28 dBm	+/-1dB		24Mbps	-86 dBm	+/-1dB
	36Mbps	26 dBm	+/-1dB		36Mbps	-83 dBm	+/-1dB
	48Mbps	25 dBm	+/-1dB		48Mbps	-77 dBm	+/-1dB
	54Mbps	24 dBm	+/-1dB		54Mbps	-74 dBm	+/-1dB

**Figura 4.39** Sensibilidad de recepción tarjeta *Atheros* RX2.

La velocidad de transferencia de datos es de 5.5 Mbps, la sensibilidad del receptor es de (-95 dBm), teniendo los valores, se procede a realizar el cálculo del margen  $M$  de los enlaces de la red WiFi rural de Junín mediante la siguiente Ecuación (4.23):

$$M = N_{sr} - S_{rx} \text{ dB} \quad (4.23)$$

Donde:

$M$ = Margen de la Señal (dB).

<sup>14</sup> [http://dl.ubnt.com/xr2\\_datasheet.pdf](http://dl.ubnt.com/xr2_datasheet.pdf)

$N_{rs}$ = Nivel de la Potencia de recepción de la señal (dBm).

$S_{rx}$ = Sensibilidad de recepción (dBm).

Remplazando la ecuación (4.23) con el resultado del enlace GAD-Loma tenemos:

$$M = (-37,7) - (-95) \text{ dB} \quad (4.23)$$

$$M = 95 - 37,7 \text{ dB} \quad (4.24)$$

$$M = 57,3 \text{ dB} \quad (4.25)$$

$M$  debe ser mayor o igual a 10 dB [28], para que exista factibilidad en la transmisión de datos en un enlace de larga distancia, es decir, Ecuación (4.26):

$$M \geq 10 \text{ dB} \quad (4.26)$$

Comparando eso con el resultado del enlace GAD-Loma se demuestra que si procede la viabilidad del enlace en mención. En la Tabla 4.14, se muestran los valores del Margen de la señal de todos los enlaces de la red WiFi Rural de Junín.

**Tabla 4.14** Margen de la señal de los enlaces de la red WiFi Rural de Junín.

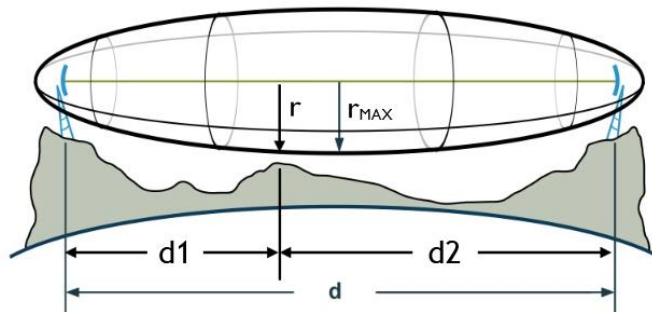
Enlaces	f (GHz)	$N_{rs}$ (dBm)	$S_{rx}$ (dBm)	M (dB)
GAD-Loma	2,4	-37,7	- 95	57,3
Loma-Aguafría	2,4	-48,9	- 95	46,1
Loma-Andarieles	2,4	-55,5	- 95	39,5
GAD-Cerro	2,4	-55,1	- 95	39,9
Cerro-Montañita	2,4	-56,3	- 95	38,7
Cerro-Guayabales	2,4	-60,3	- 95	34,7

Como se aprecia en la Tabla 4.13 todos los enlaces cumplen con el requisito mínimo del Margen de recepción de la señal de acuerdo a la Ecuación (4.26), es decir todos los enlaces poseen viabilidad para la transmisión de datos en la red WiFi Rural de Junín.

#### 4.9.4. Primera Zona de Fresnel.

Es un volumen elipsoidal alrededor de la línea de vista, que une el transmisor con el receptor de un enlace Punto a Punto. Es importante porque a través de este radio verificamos si existe despeje, para que la potencia que alcanza la antena receptora se la deseable.

Los obstáculos más comunes que un diseñador de red de larga distancia puede encontrar: arboles, colinas, edificios; pueden atenuar considerablemente la señal recibida, aun cuando el enlace entre Tx y Rx, tenga (*Line of Sight*) línea de vista. La imagen 4.40 muestra los parámetros necesarios, utilizados en la ecuación de la primera zona de Fresnel.



**Figura 4.40** Primera Zona de Fresnel.

A continuación se modela la Ecuación (4.27) para la obtención de la primera Zona de Fresnel.

$$r = 17,31 * \sqrt{\left(\frac{d_1 * d_2}{f * d}\right)} \text{ (m)} \quad (4.27)$$

Dónde:

$r$  = radio de la primera zona de Fresnel (m).

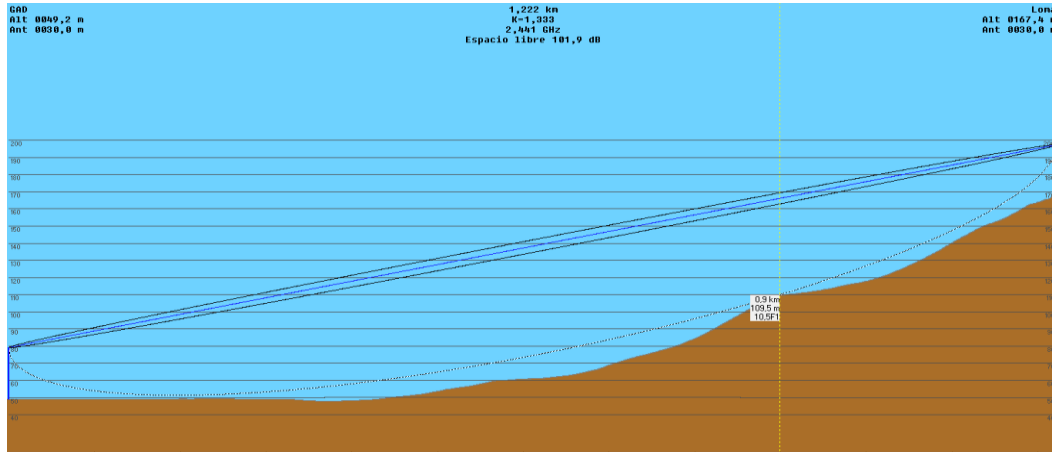
$d_1$  = distancia más cercana de un extremo del enlace al obstáculo (m).

$d_2$  = distancia más lejana de un extremo del enlace al obstáculo (m).

$f$  = frecuencia (MHz).

$d$  = Distancia total del enlace (m).

Para la obtención del radio de la primera zona de Fresnel del enlace GAD-Loma, utilizando la Ecuación 4.27, es necesario el uso de la Figura 4.41, la misma que se obtuvo en la simulación del perfil topográfica realizada en Radio-Mobile.



**Figura 4.41** Enlace GAD-Loma, realizada en Radio Mobile.

Luego de haber obtenido los valores correspondientes a las distancias  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d$ , necesarios para obtener el radio de Fresnel, además es importante indicar que para efectos del cálculo,  $f$  (frecuencia) se usará el valor del canal 1, en 2.4 GHz, es decir; 2412 MHz, reemplazando los valores tenemos:

$$r = 17,31 * \sqrt{\left(\frac{(320*900)}{(2412*1200)}\right)} \text{ (m)} \quad (4.29)$$

$$r = 17,31 * \sqrt{\left(\frac{(288000)}{(2928000)}\right)} \text{ (m)} \quad (4.30)$$

$$r = 17,31 * \sqrt{(0,098)} \text{ (m)} \quad (4.31)$$

$$r = 17,31 * 0,3136 \text{ (m)} \quad (4.32)$$

$$r = 5,429 \text{ (m)} \quad (4.33)$$

En la tabla 4.15 se modelan las variables y constantes utilizadas para la obtención del radio de Fresnel de cada enlace. En el *Anexo D* se presentan los gráficos correspondientes a las distancias en Radio-Mobile necesarios para el cálculo del primer radio de Fresnel, de todos los enlaces de la red WiFi rural de Junín.

**Tabla 4.15** Valores para la obtención del radio de Fresnel en la red WiFi.

Enlaces	Constante	$d_1$ (m)	$d_2$ (m)	Frecuencia (MHz)	Distancia Enlaces (m)	Fresnel (m)
Gad-Loma	17,31	320	900	2412	1220	5,415
Loma-Aguafría	17,31	1630	2770	2412	4400	11,291
Loma-Andarieles	17,31	4640	4770	2412	9410	17,094
GAD-Cerro	17,31	2590	6420	2412	9010	15,141
Cerro-Montañita	17,31	3110	7250	2412	10360	16,443
Cerro-Guayabales	17,31	2070	14390	2412	16460	14,994

La Ecuación (4.27) calcula el primer radio de la zona de Fresnel, no la altura sobre el terreno. En la práctica es suficiente despejar solo el 60 % (WNDW, 2013, p.449), o el 70% de la primera zona de Fresnel, para un enlace aceptable. En la tabla 4.16 se muestra el cálculo de Fresnel con el 70%.

**Tabla 4.16** Valores de Fresnel con el 70% en la Red WiFi Rural de Junín.

Enlaces	Distancia Enlaces (m)	Fresnel (m)	Fresnel 70% (m)
GAD-Loma	1220	5,415	3,791
Loma-Aguafría	4400	11,291	7,903
Loma-Andarieles	9410	17,094	11,965
GAD-Cerro	9010	15,141	10,599
Cerro-Montañita	10360	16,443	11,510
Cerro-Guayabales	16460	15,031	10,496

Al concluir verificamos que el primer elipsoide de la zona de Fresnel más cercano a la tierra, está despejado en todos los enlaces, indicando viabilidad para el diseño de la red WiFi rural de Junín.

## Capítulo V

### 5. Simulación del Diseño Mediante Software.

#### 5.1. Ns2

Ns2 es un simulador de eventos discretos dirigidos a la creación de redes de investigación, fue desarrollado por la *Information Sciences Institute* de la *University of Southern California*.

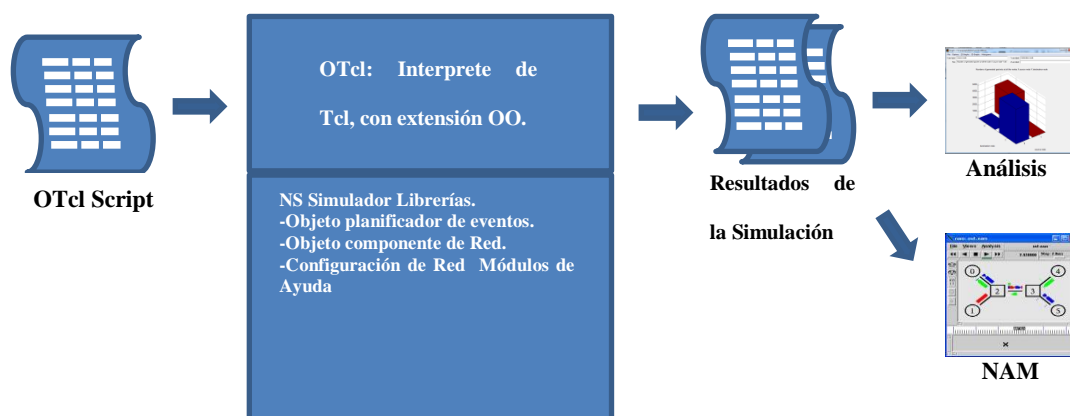
Es una herramienta disponible en múltiples plataformas, que ofrece soporte para la simulación de todo tipo de redes tanto cableadas como inalámbricas. Se trata de uno de los simuladores de redes más utilizado entre la comunidad docente e investigadora del área de redes de computadores y de las principales empresas de IT del mundo.

Ns comenzó como una variante del simulador de red real en 1989, la misma que evolucionó considerablemente desde sus inicios, en 1995 el desarrollo Ns fue apoyado por DARPA a través del proyecto VINT [29]. Actualmente el desarrollo Ns es apoyado a través de DARPA con SAMAN [30] a través de NSF con CONSER [31] y la colaboración de varios investigadores, incluyendo el grupo ICIR [32].

El simulador es gratuito, se suministra con el código fuente completo. Consta de un núcleo principal escrito en C++ al que se invoca simplemente tecleando (ns) en la línea de comandos, luego de que haya sido correctamente instalado.

A partir de este punto el usuario puede interactuar directamente con el simulador, a través de un lenguaje de interface. El lenguaje de interface es OTcl, una versión de Tcl orientada a objetos. El usuario define mediante un script la pila de protocolos y otros aspectos básicos del tipo de red, y proporciona a *ns* diversos datos, algunos en forma de ficheros acerca del escenario a simular y del tipo y características del tráfico se va a utilizar.

Conforme avanza la simulación, se generan un conjunto de datos de salida que se almacenan en un fichero de traza (.tr). A partir de las trazas de simulación se pueden utilizar lenguajes como Perl y AWK para filtrar la traza y aplicaciones como *tracegraph* para modelar datos y cuadros estadísticos. Finalmente, herramientas tales como *Network Animator* (nam) permiten realizar un análisis visual del envío y recepción de paquetes de datos y control a medida que avanza la simulación. La figura 5.1 muestra un esquema del proceso general de simulación.



**Figura 5.1** Vista simplificada del usuario del NS.

NS2 es desarrollado en dos lenguajes: C++ y OTcl, básicamente es un intérprete de scripts OTcl.

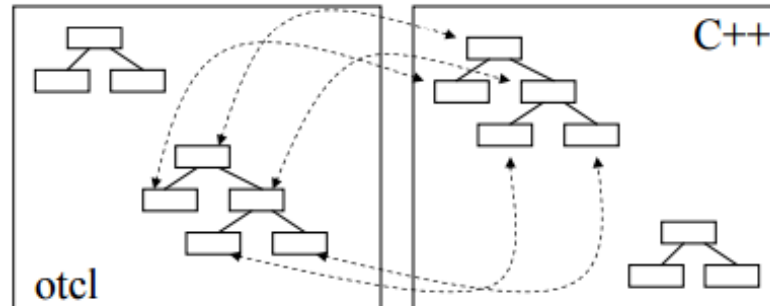
C++ para el “nucleo” del NS: es el lenguaje compilado con el que se implementa la mayor parte de los modelos de los objetos de red utilizados durante las simulaciones.



**OTcl** para el “control” de NS: es una extensión del lenguaje de programación Tcl (*Tool Command Language*) orientada a objetos.

- Tcl es un lenguaje de scripting (conjunto de comandos) interpretado.

La Figura 5.2 muestra la arquitectura de Ns2



**Figura 5.2** Arquitectura de Ns2.

Desde sus inicios ns2 ha experimentado algunos cambios, los mismos que generaron varias versiones [33] durante su evolución, la más reciente es ns-2.35. Para la presente investigación se utilizó Ns2.1b9a, porque permite realizar simulaciones de redes WiFi de grandes distancias (WILD), con la incorporación de una mejora llamada TENS [34].

### **5.1.1. Modelos de Radio Propagación de Ns2.**

Los modelos de radio propagaciones implementadas en ns2 se utilizan para predecir la potencia de la señal recibida de cada paquete. En la capa física de cada nodo inalámbrico, hay un umbral de recepción, si su potencia de señal está por debajo del umbral de la recepción, se marca como error y se cae el paquete por la restricción de la capa MAC.

Hasta la actualidad se conocen tres modelos de propagación en *ns2*, el modelo de Free Space, Two-Ray Ground Reflection y el modelo shadowing. Su aplicación puede encontrarse en la siguiente ruta ~ ns-allinone-2.1b9a/ns-2.1b9a/indep-utils /propagation/threshold.cc.

A continuación abordaremos brevemente cada uno de los modelos, indicando sus características principales.

#### **5.1.1.1. Free Space.**

El modelo de propagación en el espacio libre [35], asume la condición de propagación ideal, la cual indica que hay un camino claro de línea de vista entre el transmisor y el receptor. La siguiente ecuación calcula la potencia de la señal recibida en el espacio libre a una distancia desde el transmisor.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (5.1)$$

$P_r$  = Potencia de recepción;

$P_t$  = Potencia de transmisión;

$G_t$  = Ganancia de antena de transmisión;

$G_r$  = Ganancia de antena de recepción;

$d$  = distancia entre los nodos transmisor y receptor;

$\lambda$  = lambda- longitud de onda

$L$  = pérdidas del sistema (valor por defecto = 1).

#### 5.1.1.2. *Two-Ray Ground.*

Una sola trayectoria de línea de visión directa entre dos nodos móviles es rara vez el único medio de propagación. El modelo de la reflexión de tierra de dos rayos [36], considera tanto el camino directo y un camino de reflexión en el suelo. Este modelo proporciona una predicción más precisa en largas distancia, mejor que el modelo de espacio libre. La potencia recibida en la distancia  $d$  es predicha por la siguiente formula:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L} \quad (5.2)$$

Donde  $h_t$  y  $h_r$  son las alturas de la transmisión y recepción de las antenas respectivamente. La ecuación original asume  $L = 1$ . Para ser coherente con el modelo de espacio libre, se añade esta constante.

Este modelo no da buen resultado para cortas distancias, debido a la oscilación causada por la combinación constructiva y destructiva de los dos rayos, a diferencia del modelo de espacio libre, que es óptimo cuando  $d$  es pequeña.

Una distancia cross-over  $d_c$  se calcula en este modelo de la siguiente forma:

$$d_c = (4\pi h_t h_r) / \lambda \quad (5.3)$$

#### 5.1.1.3. *Shadowing.*

El modelo de Free Space y el modelo Two-Ray Ground predicen la potencia recibida como una función determinista de la distancia. Ambas representan el rango de comunicación como un círculo ideal. En realidad, la potencia recibida en cierta distancia es una variable aleatoria debido a los efectos de propagación por trayectos múltiples, que también se conocen como efectos de desvanecimiento. De hecho, los dos modelos anteriores predicen la potencia media recibida en base a la distancia  $d$ . Un modelo más general y ampliamente utilizado se llama el modelo *Shadowing* [37].

Este modelo consta de dos partes. La primera de ellas se conoce como modelo de pérdida de trayectoria, que también predice la media potencia recibida a una distancia  $d$ , denotado por  $P_r(d)$ . Utiliza una limite en distancia  $d_0$  como referencia.  $P_r(d)$ , se calcula en relación con  $P_r(d_0)$  de la siguiente forma:

$$\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} = \left(\frac{d}{d_0}\right)^\beta \quad (5.4)$$

$\beta$  se llama el exponente de pérdida de trayectoria, y por lo general se determina empíricamente mediante la medición de campo. De la ecuación. (5.1) conocemos que  $\beta = 2$  para la propagación de espacio libre. La tabla 5.1 da algunos valores típicos de  $\beta$ . Los valores más altos corresponden a más obstrucciones y a medida que la distancia incrementa, decrece la potencia media recibida.  $P_r(d_0)$  se puede calcular a partir de la ecuación. (5.1).

**Tabla 5.1** Valores Típicos del exponente  $\beta$ .

Desenvolvimiento		$\beta$
Al aire libre	Free Space	2
	Shadowed área urbana	2.7 a 5
En edificio	Línea de vista	1.6 a 1.8
	Obstrucción	4 a 6

**Tabla 5.2** Valores típicos de la desviación de shadowing  $\sigma_{dB}$

Desenvolvimiento	$\sigma_{dB} (dB)$
Al aire libre	4 a 12
Oficina, divisiones fortificadas	7
Oficina, divisiones sencillas	9,6
Factor- Línea de Vista	3 a 6
Factor-Obstrucción	6,8

La pérdida de trayectoria se mide en dB. A continuación se modela la ecuación (5.5):

$$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (5.5)$$

La segunda parte del modelo shadowing refleja la variación de la potencia recibida en cierta distancia. Es una variable aleatoria logaritmo natural, es decir, es de distribución gaussiana y se mide en dB. El modelo shadowing está representado por:

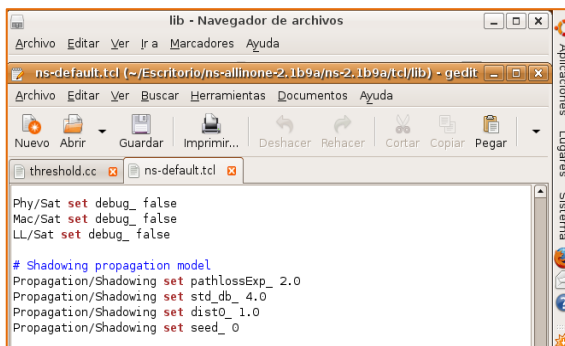
$$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_{dB} \quad (5.6)$$

$X_{dB}$  es una variable aleatoria gaussiana con media cero y desviación estándar  $\sigma_{dB}$ .  $\sigma_{dB}$  es conocida como desviación de *shadowing*, y también se obtiene por medición. La Tabla 5.2, muestra algunos valores típicos de  $\sigma_{dB}$ . La ecuación (5.6) también se conoce como modelo de logaritmo natural de *shadowing*.

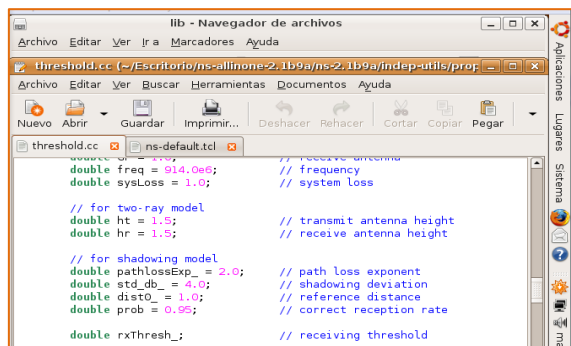
En el modelo de radio propagación *shadowing*, los nodos sólo pueden comunicarse probabilísticamente cuando está cerca del borde de la zona de comunicación.

En esta investigación utilizamos el modelo de propagación *Shadowing*, por asemejarse a las necesidades de un enlace de larga distancia real.

Los valores por defecto de la propagación de *shadowing* en ns2 se encuentran en los archivos alojados en las siguientes rutas: /Escritorio/ns-allinone-2.1b9a/ns-2.1b9a/indep-utils/propagation/threshold.cc y /Escritorio/ns-allinone-2.1b9a/ns2.1b9a/tcl/lib/ns-default.tcl; las Figuras 5.3 y 5.4 demuestran lo manifestado.



**Figura 5.4** Valores Modelo shadowing (ns-default.tcl)



**Figura 5.3** Valores Modelo shadowing (threshold.cc)

## 5.2 TeNs en Ns2.1b9a

### 5.2.1. Mejora del Simulator de Red Ns2 para largas distancias.

*TENS* 1.2 fue desarrollado en el departamento de Ciencias de la Computación e Ingeniería, Instituto de Tecnología, Kanpur, India [38].

El Network Simulator mejorado (TeNs), es una extensión de la actual herramienta de simulación de redes. TeNs es un intento de abordar las deficiencias de ns2, en el modelado de IEEE 802.11 protocolo de capa MAC, que está muy simplificado en los ns2 originales. Aparte de una aplicación más realista de este, también incorpora funciones adicionales como múltiples interfaces, a los nodos móviles, un protocolo de enrutamiento estático para escenarios inalámbricos, y también cuenta con la inclusión de las antenas direccionales simples.

Fue desarrollado con el objetivo expreso de modelar simulaciones de enlaces de larga distancia. Es por ello que se optó por usar esta herramienta para la simulación de los enlaces de la red WiFi rural de Junín.

### **5.2.2. Características Principales de TeNs.**

- Soporte de múltiple interfaces.
- Enrutamiento estático, implementado para nodos inalámbricos
- Interferencia Co-Canal
- Apoya a los tipos de datos de adaptación de 802.11
- Incorpora Modulación BPSK
- Añade antena direccional
- Permite configurar el número de canal a usar en una simulación.
- La adición de entradas a través de la escritura de ARP
- Añade protocolo 2-p (punto a punto de un enlace).
- Varios parámetros MAC como umbral RTS, el umbral de captura hechas configurable.

WLSTATIC es el protocolo de enrutamiento que propuso la mejora de Ns2 TeNs 1.2 la cual permite configurar una tabla de enrutamiento a partir de cuatro parámetros: el número de saltos, siguiente salto, siguiente nodo y la interfaz a usar, en un enlace de larga distancia.

Otra inclusión importante es la utilización de antenas direccionales para lo cual se pueden utilizar 5 tipos, esta investigación utilizó (type 1).

### 5.3. Tracegraph

*TraceGraph* es una herramienta libre, se usa para graficar y especialmente analizar las trazas generadas (\*.tr) por el simulador de redes NS-2.

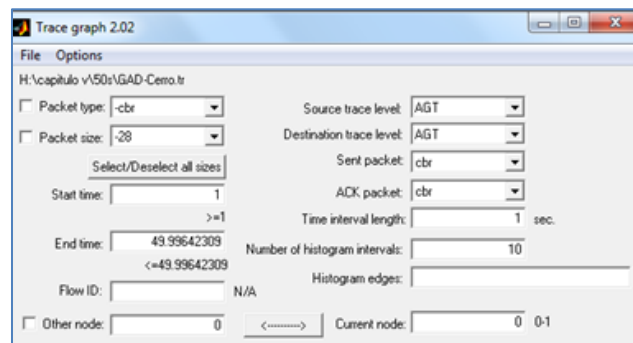
Para el funcionamiento de *Tracegraph* es necesario tener instalado en nuestro sistema, ciertas librerías de *Matlab*.

La gran problemática que ha existido en el ámbito de analizar los resultados generados por las simulaciones, es que los graficadores utilizados (como *Xgraph*), no soportan en su estado natural los distintos tipos de trazas existentes, sin existir tampoco ningún tipo de convertidor de formato de archivos automático.

Los tipos de análisis de traza que *TraceGraph* soporta:

- Wired
- Satellite.
- Wireless.
- New trace.
- wired-wireless.

Actualmente *TraceGraph* existe en su versión 2.05, pero en su página oficial también existe al versión compilada 2.02 (versión con la cual se realizó el análisis de las trazas de la simulación), en el *Anexo E* se detalla el proceso de instalación de este programa. En la Figura 5.5 se muestra una gráfica de estadística de un enlace en *tracegraph*.



**Figura 5.5** Entorno gráfico de TraceGraph.



### 5.3.1. Características principales de Tracegraph.

Las características más importantes de *Tracegraph* 2.02 son las siguientes:

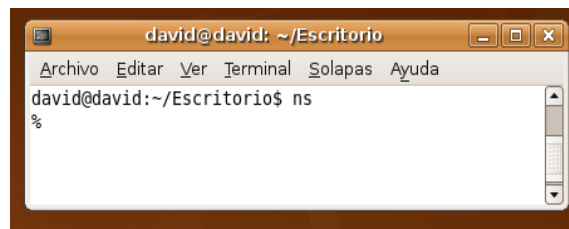
- Exporta la información a ciertos tipos de gráficos en 2D.
- Exportar la información a 12 tipos de gráficos 3D.
- Tipos de análisis que se pueden realizar:
- Retrasos (delays).
- Variaciones (jitters).
- Tiempos de procesamiento.
- Round Trip Times (RTT).
- Throughput (productividad).
- Estadísticas, otros.

Es posible obtener información y estadísticas de la red entera y relaciones entre nodos (links).

Los resultados pueden ser guardados como archivos de textos, gráficos, imágenes (JPG y TIFF).

### 5.4. Parametrización del Simulador

Antes de iniciar con la simulación de los enlaces es necesario tener bien instalado el ns-allinone-2.1b9a-gcc32 (compatible con gcc32) en nuestro ordenador, lo comprobamos ingresando el comando `ns` en el terminal de Ubuntu (en este caso) y nos debe devolver lo siguiente %, la Figura 5.6 nos muestra lo explicado. Es preciso indicar que en el *Anexo E* se encuentra paso a paso el proceso de instalación de Ns2.1b9a en Ubuntu 8.04.



**Figura 5.6** Comprobación de Instalación Ns2.

Los Enlaces escogidos para la simulación se muestran en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3** Distribución de los enlaces para la simulación.

Enlace	Nodo origen	Nodo destino	Distancia del Enlace (m)
GAD-Loma	Municipio	Loma de Junín	1220
GAD-Cerro	Municipio	Cerro de Junín	9010
Loma-Aguafría	Loma de Junín	Aguafría	4400
Loma-Andarieles	Loma de Junín	Andarieles	9410
Cerro-Montañita	Cerro de Junín	Montañita	10630
Cerro-Guayabales	Cerro de Junín	Guayabales	16460

#### 5.4.1 Configuración de parámetros para enlaces de larga distancia.

La mejora del simulador Ns2 para larga distancia TeNs 1.2, permite emular redes WiFi para largas distancias, mediante enlaces punto a punto (*PtP*), en la banda 2.4 GHz, aplicando el estándar 802.11 b/g; para ello es necesario modificar los parámetros de la capa MAC (*ACKTimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime*), parámetros que el estándar IEEE Std 802.11<sup>TM</sup> -2012 ratifica como limitaciones en comunicaciones para largas distancias.

En este contexto la investigación se centra en la modificación de los parámetros de la capa MAC del estándar 802.11, para transmitir datos en enlaces de largas distancias mediante WiFi. A continuación se realiza el cálculo de los valores del *ACKTimeout*, *CTSTimeout* y *SLOTTime* en relación a las distancias de cada enlace propuesto en el diseño, para realizar la simulación.

##### 5.4.1.1. *ACKTimeout*.

El estándar 802.11<sup>TM</sup>-1997 no asigna un valor del *ACKTimeout*, mucho menos como se calcula; en las publicaciones IEEE Std 802.11<sup>TM</sup> -2007 e IEEE Std 802.11<sup>TM</sup> -2012, en la sección 9.2.8

*ACK Procedure* [39] y 9.3.2.8 *ACK Procedure* [40], respectivamente, establecen una expresión que calcula el valor de ACKTimeout la misma que se la obtiene con la Ecuación (5.7):

$$\text{ACKTimeout} = \text{SIFS} + \text{SlotTime} + \text{aPHY-RX-START-Delay} \quad (5.7)$$

Dónde:  $\text{aPHY} - \text{RX} - \text{START} - \text{Delay} = 192 \mu\text{s}$ <sup>15</sup>, para DSSS;  $\text{SIFS} = 20\mu\text{s}$ ;  $\text{SlotTime} = 20\mu\text{s}$ . Los dos últimos valores, corresponden a los establecidos por el estándar IEEE Std 802.11TM-2012. La Tabla (5.4) presenta algunos parámetros considerados en el cálculo del ACKTimeout [41], de acuerdo a los estándares 802.11 original, a, b y g.

**Tabla 5.4** Parámetros MAC relevantes para estándares a, b y g.

N°	Parámetros	802.11	802.11 b	802.11a	802.11g
1	SlotTime ( $\mu\text{s}$ )	20 50	20	9	20 o 9
2	SIFS ( $\mu\text{s}$ )	10 28	10	16	10
3	PIFS ( $\mu\text{s}$ )	30 78	30	25	30 o 19
4	DIFS ( $\mu\text{s}$ )	50 106	50	34	50 o 28
5	Ventana de contienda (slot)	31-1023 15-1023	31-1023	15-1023	15-1023 31-1023
6	Duración de Preámbulo ( $\mu\text{s}$ )	144 96	144	16	20
7	Duración de Cabecera PLCP ( $\mu\text{s}$ )	48 32	48	4	4
8	Long. Max. Trama MAC (bytes)	4-8191 4095	4095	4095	4095

Si reemplazamos los parámetros de la Ecuación (5.7) con los valores establecidos por la IEEE para comunicaciones inalámbricas en el espacio libre (distancia 300m) mediante 802.11, obtendríamos el siguiente ACKTimeout:

$$\text{ACKTimeout} = 10 \mu\text{s} + 20 \mu\text{s} + 192 \mu\text{s} \quad (5.8)$$

<sup>15</sup> IEEE. (2012). IEEE Standard for Information technology telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks Specific requirements, 802.11 Part 11: 16. DSSS PHY specification for the 2.4 GHz band designated for ISM applications. p.1514.

$$ACKTimeout = 222 \mu s \quad (5.8)$$

En un trabajo de investigación realizado por Simó [42], propone una expresión matemática para la obtención del *ACKTimeout*, para mejorar un alcance óptimo en comunicaciones inalámbricas mediante WiFi, en escenarios de largas distancias, de acuerdo a la Ecuación (5.8):

$$ACKTimeout = SIFS + 2\delta + PLCP\text{Preamble} + PLCP\text{Header} + SlotTime \quad (5.8)$$

PLCP Preamble y PLCP Header son los tiempos de recepción del preámbulo y cabecera PLCP respectivamente, cuya suma es equivalente a *aPHY-RX-START-Delay*, los valores para SIFS y SlotTime (duración de una ranura) se presentan en la Tabla 5.5 de acuerdo al estándar original, b, a y g. El valor de  $2\delta$ , corresponde al tiempo de propagación de ida y regreso, se calcula con la expresión  $2 \left( \frac{d}{c} \right)$ , que es igual a la distancia  $d$  (m) del enlace, sobre la velocidad de la luz  $C = 3 \times 10^8 \left( \frac{m}{s} \right)$ .

Aplicando la ecuación 5.8, a los enlaces propuestos para el diseño de la red WiFi rural de Junín, se obtuvieron los resultados de *ACKTimeout*, los mismos que se modelan en la Tabla 5.5, cabe indicar que el cálculo se lo realizó con el estándar 802.11b.

**Tabla 5.5** Calculo de ACKTimeout modificados para largas distancias.

Enlaces	d(m)	SIFS ( $\mu s$ )	$2\delta$ ( $\mu s$ )	SlotTime ( $\mu s$ )	PLCP Preamble ( $\mu s$ )	PLCP Header ( $\mu s$ )	AckTimeout ( $\mu s$ )
GAD-Loma	1220	10	8	20	144	48	230
Loma-Aguafría	4400	10	29	20	144	48	251
Loma-Andarieles	9410	10	63	20	144	48	285
GAD-Cerro	9010	10	60	20	144	48	282
Cerro-Montañita	10360	10	69	20	144	48	291
Cerro-Guayabales	16460	10	110	20	144	48	332

#### 5.4.1.2. *CTSTimeout* .

El estándar 802.11 original en las publicaciones IEEE Std 802.11<sup>TM</sup> -2007 e IEEE Std 802.11<sup>TM</sup> -2012, en la sección 9.2.5.7 *CTS Procedure* y 9.3.2.6 *CTS Procedure* respectivamente, establecen una expresión que calcula el valor de *CTSTimeout* la misma que se la obtiene con la Ecuación (5.9):

$$CTSTimeout = SIFS + SlotTime + aPHY-RX-START-Delay \quad (5.9)$$

Como se podrá observar es la misma ecuación que el estándar IEEE 802.11<sup>TM</sup> -2012 propone para obtener el valor del *ACKTimeout*, es decir:

$$CTSTimeout = ACKTimeout \quad (5.10)$$

Aplicando la sugerencia de Simó, sobre la utilización de la expresión para la obtención del *ACKTimeout*, para mejorar el rendimiento de un enlace de larga distancia; se procede a utilizar la Ecuación (5.8), para el cálculo del *CTSTimeout*.

$$CTSTimeout = SIFS + 2\delta + SlotTime + PLCP\text{Preamble} + PLCP\text{Header} \quad (5.11)$$

Como ya se obtuvo el cálculo de *ACKTimeout* y este es igual que *CTSTimeout* como lo sugiere el Estandar IEEE 802.11<sup>TM</sup> -2012, en la Tabla (5.6) se presentan los resultados del *CTSTimeout*, en función de la distancia de cada enlace, de acuerdo a la ecuación de Simó.

**Tabla 5.6** Valores de *CTSTimeout* modificado para largas distancias.

Enlaces	d(m)	SIFS (μs)	2δ (μs)	SlotTime (μs)	PLCP Preamble (μs)	PLCP Header (μs)	CTSTimeout (μs)
GAD-Loma	1220	10	8	20	144	48	230
Loma-Aguafría	4400	10	29	20	144	48	251
Loma-Andarieles	9410	10	63	20	144	48	285
GAD-Cerro	9010	10	60	20	144	48	282
Cerro-Montañita	10360	10	69	20	144	48	291
Cerro-Guayabales	16460	10	110	20	144	48	332

### 5.4.1.3. *SlotTime*

El tiempo de ranura es otro de los parámetros considerados a modificar en la capa MAC, para que se pueda transmitir a largas distancias a través de WiFi, es otra de las limitaciones consideradas en el estándar IEEE 802.11. Para poder calcular este valor lo hacemos en función siempre de la distancia, cuya ecuación se muestra a continuación.

$$\text{SlotTime} = 2\delta \quad (5.12)$$

Como ya se ha mencionado,  $\delta$  se calcula dividiendo la distancia del enlace  $d$  [ m ] , sobre la velocidad de la luz  $c$  [m/s].

La Tabla 5.7 muestra los valores del *SlotTime* en función de las distancias de los enlaces de la red WiFi rural de Junín.

**Tabla 5.7** Calculo de SlotTime de los enlaces de la red WiFi.

Enlaces	d(m)	c (m/s)	$\delta$ (s)	$2\delta$ ( $\mu$ s)
GAD-Loma	1220	3E+08	4,07E-06	8
Loma-Aguafría	4400	3E+08	1,47E-05	29
Loma-Andarieles	9410	3E+08	3,14E-05	63
GAD-Cerro	9010	3E+08	3,00E-05	60
Cerro-Montañita	10360	3E+08	3,45E-05	69
Cerro-Guayabales	16460	3E+08	5,49E-05	110

Un hecho importante que hay que tener bien presente es que el valor del *SlotTime* es proporcional al retardo de propagación, por lo tanto debe ser considerado el retardo necesario de ida y regreso, en un enlace inalámbrico de larga distancia punto a punto mediante WiFi.

## 5.4.2. Parametrización previa a la simulación

### 5.4.2.1. Valores MAC utilizados en la simulación

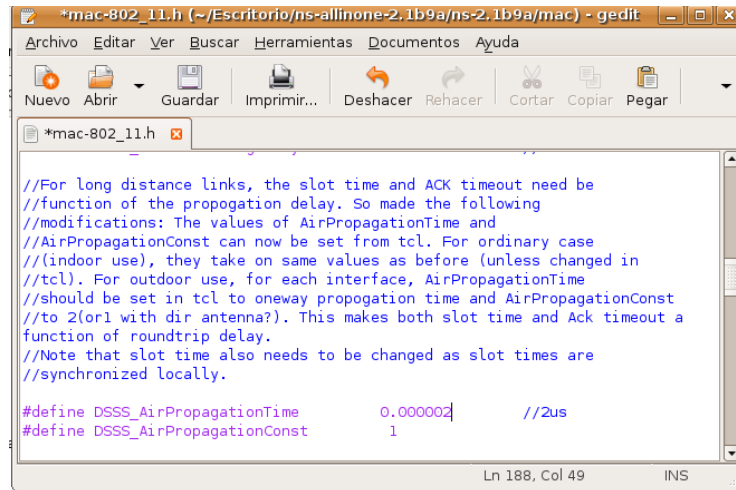
La mejora del Ns2 para simulaciones de largas distancias (TeNs 1.2), permite la modificación directa del *ACKTimeout* a través de la constante *DSSS\_AirPropagationTime*, que es su equivalente, por defecto viene con un valor (2  $\mu$ s), para simulaciones de largas distancias debe ser modificado. Con respecto a los enlaces propuestos para el diseño de la red WiFi, los valores de *ACKTimeout* corresponden a los que se muestran en la Tabla 5.8 de acuerdo a las distancias de los enlaces.

**Tabla 5.8** Valores MAC calculados, para los enlaces de larga distancia del diseño.

Enlaces	Distancia (m)	SlotTime $2\delta$ ( $\mu$ s)	ACKTimeout ( $\mu$ s)	CTSTimeout ( $\mu$ s)
GAD-Loma	1220	8	230	230
Loma-Aguafría	4400	29	251	251
Loma-Andarieles	9410	63	285	285
GAD-Cerro	9010	60	282	282
Cerro-Montañita	10360	69	291	291
Cerro-Guayabales	16460	110	332	332

Luego se procede a modificar *DSSS\_AirPropagationTime* en el archivo *mac-802.11.h*, cuya ruta de ubicación del archivo es: *~/Escritorio/ nsallinone-2.1b9a/ns-2.1b9a/mac*, para cada simulación.

La Figura 5.7 muestra el archivo contenedor de la constante que se necesita modificar para realizar la simulación de los enlaces de largo alcance.



**Figura 5.7** Ruta del archivo para modificar el ACKTimeout.

Como se aprecia en la Figura 5.7, también existe otra constante *DSSS-AirPropagationConst*, los valores que puede tomar es 1 o 2, este valor depende del tipo de antena que se utiliza, como en esta simulación, se utilizó la antena direccional se le asigna 1.

El valor de *ACKTimeout* de la Tabla 5.8 corresponderá al valor de *DSSS\_AirPropagationTime* en la simulación mediante Ns2, de cada uno de los enlaces.

#### 5.4.2.2. Configuraciones generales del script .tcl

La simulación se realizó en el sistema operativo Ubuntu 8.04, el compilador C++ versión 3.3, Ns2.1b9a es el simulador utilizado con la inclusión de la mejora para largas distancias TeNs 1.2.

La Tabla 5.9 muestra las características y configuraciones principales del scrip.tcl utilizado para las simulaciones mediante ns-2.1b9a con la mejora para enlaces WiFi en largas distancias (TeNs1.2).



**Tabla 5.9** Configuraciones generales del script.tcl

Datos Relevantes	Características
Tipo de Canal	Channel_802_11
Modelo de radio propagación	Shadowing
Tipo de Interfaz de Red	Wireless_802_11_Phy
Tipo de Mac	Mac/802.11
Capa de enlace	LL
Tipo de Interfaz de cola	Queue/droptail/PriQueue
Tipo de Antena	Antenna/DirAntenna
Longitud de cola	50 (paquetes en cola)
Protocolo de enrutamiento	WLSTATIC
Cantidad de nodos	2
Numero de Interfaces	1
Modulación	Modulation/BPSK
Frecuencia de Simulación	2.4GHz
Protocolo de Transporte	TCP
Ancho de Banda	5.5Mbps
Tiempo de Simulación	50 s
Distancia	(varia por enlace)

## 5.5 Simulación de los enlaces.

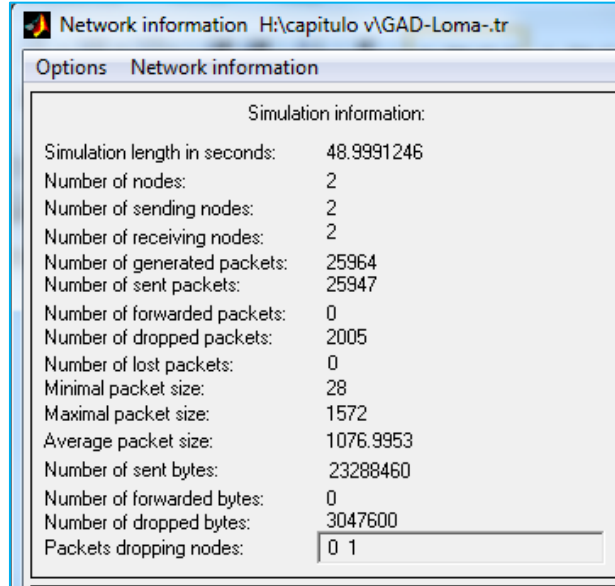
El script.tcl utilizado para la simulación de los enlaces de la red WiFi rural de Junín, mediante ns2.1b9a + TENS 1.2 se encuentra en el *Anexo F*.

### 5.5.1 Enlace GAD-Loma.

#### 5.5.1.1 Throughput del enlace GAD-Loma.

Throughput es la capacidad efectiva de transferencia de datos sobre el enlace, hay tráfico de negociación, mantenimiento y control del enlace. Esto en sistemas TCP/IP depende del protocolo de capa de transporte que utiliza la aplicación, que puede ser TCP o UDP. Típicamente una sesión UDP tiene un 20% más de performance que una sesión TCP sobre el mismo enlace.

La Figura 5.8 muestra la información de la simulación de la red GAD-Loma, bajo los parametros establecidos en el archivo *.tcl* ejecutado en Ns2.1b9a+TeNs. Estos datos son necesarios para realizar algunos calculos y luego analizar los resultados obtenidos.



**Figura 5.8** Información de la simulación del enlace GAD-Loma.

#### 5.5.1.1.1. *Throughput en función de la Red*

El Throughput o rendimiento de una red de datos está dado por el número de bits que pueden ser transmitidos sobre la red en cierto periodo de tiempo. La Ecuación (5.13) [43] nos ayuda a obtener el *Throughput* de la red:

$$\text{Throughput de la red} = \frac{B_{TX}}{t_{TX}} \left[ \frac{\text{Bytes}}{s} \right] \quad (5.13)$$

Dónde:

$B_{TX}$  = Número de Bytes enviados.

$t_{TX}$  = Tiempo total de simulación.

Reemplazando los valores obtenidos en la simulación del enlace GAD-Loma, Figura 5.5, se obtiene:

$$\text{Throughput de la red} = \frac{23288460}{48,9991246} \left[ \frac{\text{bytes}}{s} \right] \quad (5.14)$$

$$\text{Throughput de la red} = 475283,2 \left[ \frac{\text{bytes}}{s} \right] \quad (5.15)$$

#### 5.5.1.1.2. *Throughput de la red en función del número de Nodos.*

Para obtener el *throughput* de la red en función del número de nodos, se utilizó la Ecuación (5.16) [43] para ello se utilizaron los valores presentados en el grafico 5.8.

$$\eta = \frac{8*N_e}{T} \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.16)$$

Dónde:

$N_e$  = Número de bytes enviados.

$T$  = Tiempo total de simulación.

Reemplazando los valores obtenidos en la simulación del enlace GAD-Loma, Figura 5.8, se obtiene:

$$\eta = \frac{8*(23288460)}{48,999125} \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.17)$$

$$\eta = 3802265,48 \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.18)$$

$$\eta = 3,80 \text{ [Mbps]} \quad (5.19)$$

#### 5.5.1.1.3. *Throughput Real de la red en función al número de nodos.*

Para determinar el rendimiento real de la red en función del número de nodos se utiliza la siguiente Ecuación (5.20) [43]:

$$\eta' = \frac{8(N_e)(1-r)}{t} \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.20)$$

Dónde:

$r = \frac{P_p}{P_e}$  = Relación entre paquetes perdidos y paquetes enviados.

$N_e$  = Número de bytes enviados.

$t = \text{Tiempo total de simulación}$

Remplazando los valores de la Figura 5.8 en la Ecuación (5.20), se obtiene lo siguiente:

$$r = \frac{2005}{25964} \quad (5.21)$$

$$r = 0,07722231 \quad (5.22)$$

$$\eta' = \frac{8 (23288460) (1-0,07722231) \left[ \frac{\text{bits}}{\text{s}} \right]}{48,9991246} \quad (5.23)$$

$$\eta' = \frac{(186307680)(0,92277769) \left[ \frac{\text{bits}}{\text{s}} \right]}{48,99912} \quad (5.24)$$

$$\eta' = 3508646 \left[ \frac{\text{bits}}{\text{s}} \right] \quad (5.25)$$

$$\eta' = 3,50 [\text{Mbps}] \quad (5.26)$$

#### 5.5.1.1.4. Throughput normalizado de red, en función al número de nodos.

Para obtener el rendimiento normalizado de la red en función al número de nodos se establece la siguiente Ecuación (5.27) [43]:

$$\eta_{\eta} = \frac{\Delta Th}{RBR} \quad (5.27)$$

Dónde:

$\Delta Th = \text{Variación del throughput de la red.}$  Resultado de la Ecuación (5.20).

$RBR = \text{Round Bitrate (tasa de transmisión del enlace).}$

Se reemplazan los valores de la Figura 5.8 en la Ecuación (5.27) se obtiene lo siguiente:

$$\eta_{\eta} = \frac{3,50 e^6}{5,5 e^6} \quad (5.28)$$

$$\eta_{\eta} = 0,6379 \quad (5.29)$$

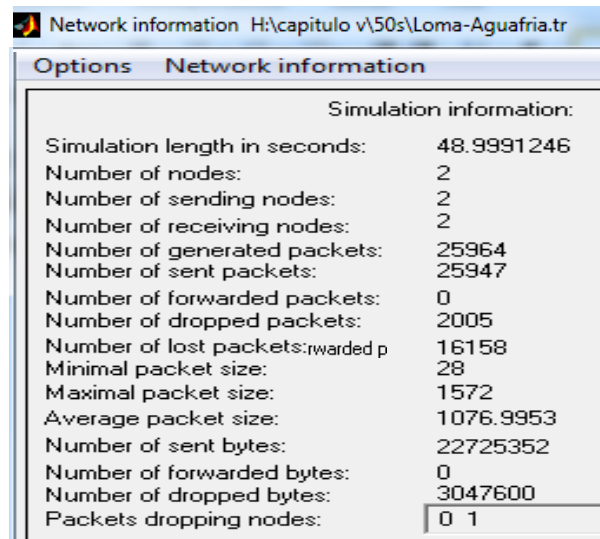
Luego de aplicar estas ecuaciones de acuerdo a los resultados de la simulación del enlace GAD-Loma, obtenemos el rendimiento (*throughput*) normalizado en la red utilizando el protocolo de transporte TCP, el cual obtuvo un valor de 3,50 [Mbps], que representa el 63,79% de la

capacidad máxima de la red, en relación a la velocidad de transmisión teórica propuesta en la simulación es de 5,5 [Mbps].

## 5.5.2. Simulación enlace Loma-Aguafría

### 5.5.2.1. *Throughput del enlace Loma-Aguafría.*

La Figura 5.9 muestra la información de la simulación de la red Loma-Aguafría, bajo los parametros establecidos en el archivo .tcl ejecutado en Ns2.1b9a+TeNs.



Simulation information:	
Simulation length in seconds:	48.9991246
Number of nodes:	2
Number of sending nodes:	2
Number of receiving nodes:	2
Number of generated packets:	25964
Number of sent packets:	25947
Number of forwarded packets:	0
Number of dropped packets:	2005
Number of lost packets: rwarded p	16158
Minimal packet size:	28
Maximal packet size:	1572
Average packet size:	1076.9953
Number of sent bytes:	22725352
Number of forwarded bytes:	0
Number of dropped bytes:	3047600
Packets dropping nodes:	0 1

**Figura 5.9** Información de la Simulación red Loma-Aguafría.

#### 5.5.2.1.1. *Throughput en función de la Red.*

El Throughput o rendimiento de la red de datos está dado por el número de bits que pueden ser transmitidos sobre la red en cierto periodo de tiempo.

Para obtener el Throughput de esta red, se aplica la ecuación 5.13, reemplazando los valores tenemos:

$$Throughput\ de\ la\ red = \frac{23288460}{48,996349} \left[ \frac{Bytes}{s} \right] \quad (5.30)$$

$$\text{Throughput de la red} = 4475283,2 \left[ \frac{\text{bytes}}{s} \right] \quad (5.31)$$

#### 5.5.2.1.2. *Throughput de la red en función del número de Nodos.*

Para obtener el throughput de la red en función de los números de nodos se aplica la Ecuación (5.16). Reemplazando los valores obtenidos en la simulación del enlace Loma-Aguafría, Figura 5.9, se obtiene:

$$\eta = \frac{8 \cdot (23288460)}{48,996349} \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.32)$$

$$\eta = 3623007,35 \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.33)$$

$$\eta = 3,62 \text{ [Mbps]} \quad (5.34)$$

#### 5.5.2.1.3. *Throughput Real de la red en función al número de nodos.*

Para determinar el rendimiento real de la red Loma-Aguafría en función del número de nodos se utiliza la Ecuación 5.20. Remplazando los valores mostrados en la Figura 5.9 se obtiene lo siguiente:

$$r = \frac{2128}{25947} \quad (5.35)$$

$$r = 0,0820133 \quad (5.36)$$

$$\eta' = \frac{8 \cdot (23288460) \cdot (1 - 0,0820133)}{48,996349} \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.37)$$

$$\eta' = \frac{(186307680) \cdot (0,9179866)}{48,996349} \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.38)$$

$$\eta' = 3490627 \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.39)$$

$$\eta' = 3,4 \text{ [Mbps]} \quad (5.40)$$

#### 5.5.2.1.4. *Throughput normalizado de la red en función al número de nodos.*

Para obtener el rendimiento normalizado de la red en función al número de nodos se utiliza la Ecuación 5.27.

Reemplazando los valores se obtiene lo siguiente:

$$\eta_{\eta} = \frac{3,4 e^6}{5,5 e^6} \quad (5.41)$$

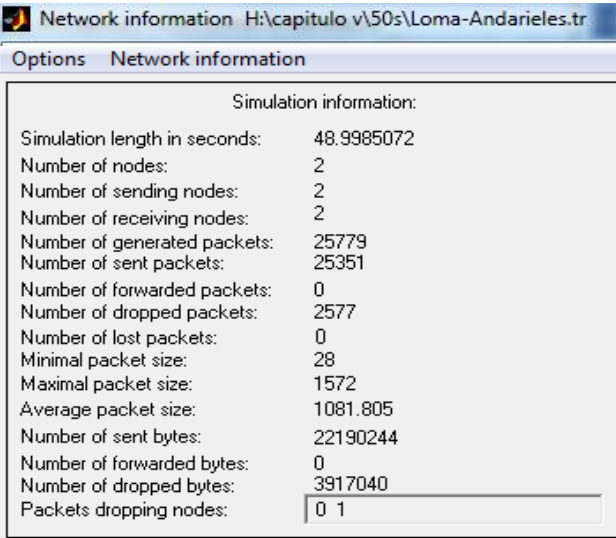
$$\eta_{\eta} = 0,63 \quad (5.42)$$

Luego de aplicar las ecuaciones de acuerdo a los resultados de la simulación del enlace Loma-Aguafría, se obtuvo el rendimiento (*throughput*) normalizado en la red utilizando el protocolo de transporte TCP, el cual presenta un valor de 3,4 [Mbps], que representa el 63% de la capacidad máxima de la red, en relación a la velocidad de transmisión teórica propuesta en la simulación es de 5,5 [Mbps].

### 5.5.3. Enlace Loma-Andarieles.

#### 5.5.3.1. *Throughput del enlace Loma-Andarieles.*

La Figura 5.10 muestra la información de la simulación de la red Loma-Andarieles, bajo los parametros establecidos en el archivo .tcl ejecutado en Ns2.1b9a+TeNs.



Simulation information:	
Simulation length in seconds:	48.9985072
Number of nodes:	2
Number of sending nodes:	2
Number of receiving nodes:	2
Number of generated packets:	25779
Number of sent packets:	25351
Number of forwarded packets:	0
Number of dropped packets:	2577
Number of lost packets:	0
Minimal packet size:	28
Maximal packet size:	1572
Average packet size:	1081.805
Number of sent bytes:	22190244
Number of forwarded bytes:	0
Number of dropped bytes:	3917040
Packets dropping nodes:	0 1

**Figura 5.10** Información de la Simulación Loma-Andarieles.

#### 5.5.3.1.1. *Throughput en función de la Red.*

El *Throughput* o rendimiento de la red de datos está dado por el número de bits que pueden ser transmitidos sobre la red en cierto periodo de tiempo.

Para obtener el *Throughput* de esta red Loma-Andarieles, se aplica la Ecuación (5.13), reemplazando los valores tenemos:

$$\text{Throughput de la red} = \frac{22190244}{48,99851} \left[ \frac{\text{Bytes}}{s} \right] \quad (5.43)$$

$$\text{Throughput de la red} = 465833,0 \left[ \frac{\text{bytes}}{s} \right] \quad (5.44)$$

#### 5.5.3.1.2. *Throughput de la red en función del número de Nodos.*

Para obtener el *throughput* de la red en función de los números de nodos se aplica la ecuación 5.16. Reemplazando los valores obtenidos en la simulación del enlace Loma-Aguafría, Figura 5.10, se obtiene:

$$\eta = \frac{8 \cdot (22190244)}{48,99851} \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.45)$$

$$\eta = 3623007 \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.46)$$

$$\eta = 3,62 \text{ [Mbps]} \quad (5.47)$$

#### 5.5.3.1.3. *Throughput Real de la red en función al número de nodos.*

Para determinar el rendimiento real de la red Loma-Andarieles en función del número de nodos se utiliza la Ecuación 5.20, reemplazando los valores mostrados en la Figura 5.10 se obtiene lo siguiente:

$$r = \frac{2577}{25351} \quad (5.48)$$

$$r = 0,1016527 \quad (5.49)$$



$$\eta' = \frac{8 (22190244) (1-0,1016527)}{48,998501} \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.50)$$

$$\eta' = \frac{(177521952)(0,89834721)}{48,998501} \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.51)$$

$$\eta' = 3254719 \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.52)$$

$$\eta' = 3,25 [Mbps] \quad (5.53)$$

#### 5.5.3.1.4. *Throughput normalizado de la red en función al número de nodos.*

Para obtener el rendimiento normalizado de la red en función al número de nodos se utiliza la Ecuación 5.27.

Reemplazando los valores:

$$\eta_{\eta} = \frac{3,25 e^6}{5,5 e^6} \quad (5.54)$$

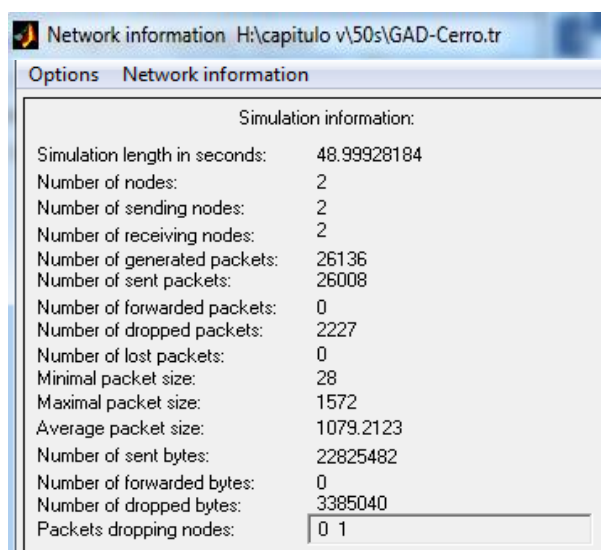
$$\eta_{\eta} = 0,59 \quad (5.55)$$

Luego de aplicar las ecuaciones de acuerdo a los resultados de la simulación del enlace Loma-Andarieles, obtuvo el rendimiento *throughput* normalizado en la red utilizando el protocolo de transporte TCP, el cual presenta un valor de 3,25 [Mbps], que representa el 59 % de la capacidad máxima de la red, en relación a la velocidad de transmisión teórica propuesta en la simulación es de 5,5 [Mbps].

### 5.5.4. Simulación Enlace GAD-Cerro.

#### 5.5.4.1. *Throughput del enlace GAD-Cerro.*

La Figura 5.11 muestra la información de la simulación de la red Loma-Andarieles, bajo los parametros establecidos en el archivo .tcl ejecutado en Ns2.1b9a+TeNs.



**Figura 5.11** Información de la Simulación, enlace GAD-Cerro.

#### 5.5.4.1.1. *Throughput en función de la red.*

El Throughput o rendimiento de la red de datos está dado por el número de bits que pueden ser transmitidos sobre la red en un periodo de tiempo.

Para obtener el Throughput de esta red GAD-Cerro, se aplica la Ecuación (5.13), reemplazando los valores obtenemos:

$$\text{Throughput de la red} = \frac{22825482}{48.999281} \left[ \frac{\text{Bytes}}{\text{s}} \right] \quad (5.56)$$

$$\text{Throughput de la red} = 465833 \left[ \frac{\text{bytes}}{\text{s}} \right] \quad (5.57)$$

#### 5.5.4.1.2. *Throughput de la red en función del número de Nodos.*

Para obtener el throughput de la red en función de los números de nodos se aplica la Ecuación (5.16). Reemplazando los valores obtenidos en la simulación del enlace GAD-Cerro, Figura 5.11, se obtiene:

$$\eta = \frac{8 \cdot (22825482)}{48.999281} \left[ \frac{\text{bits}}{\text{s}} \right] \quad (5.58)$$

$$\eta = 3726663,98 \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.59)$$

$$\eta = 3,72 [Mbps] \quad (5.60)$$

#### 5.5.4.1.3. *Throughput Real de la red en función al número de nodos.*

Para determinar el rendimiento real de la red GAD-Cerro en función del número de nodos se utiliza la Ecuación 5.20. Remplazando los valores mostrados en la Figura 5.11 se obtiene lo siguiente:

$$r = \frac{2227}{26008} \quad (5.61)$$

$$r = 0,0856275 \quad (5.62)$$

$$\eta' = \frac{8 (22825482) (1-0,0856275) \left[ \frac{bits}{s} \right]}{48,999281} \quad (5.63)$$

$$\eta' = \frac{(182603856)(0,9143725) \left[ \frac{bits}{s} \right]}{48,999281} \quad (5.64)$$

$$\eta' = 3407559 \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.65)$$

$$\eta' = 3,41 [Mbps] \quad (5.66)$$

#### 5.5.4.1.4. *Throughput normalizado de la red en función al número de nodos.*

Para obtener el rendimiento normalizado de la red en función al número de nodos se utiliza la Ecuación (5.27).

Reemplazando los valores:

$$\eta_{\eta} = \frac{3,41 e^6}{5,5 e^6} \quad (5.67)$$

$$\eta_{\eta} = 0,62 \quad (5.68)$$

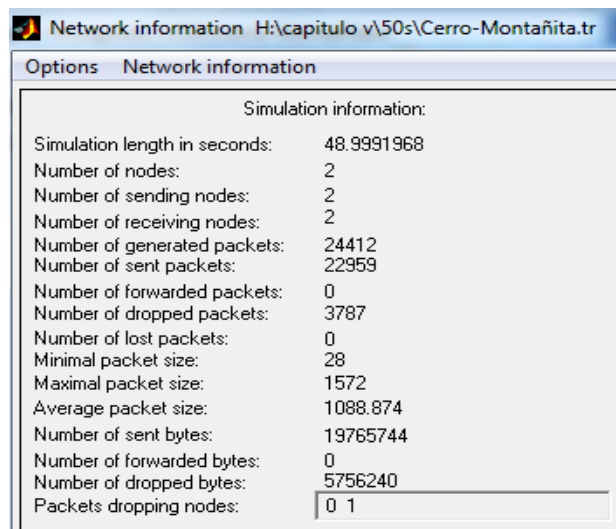
Luego de aplicar las ecuaciones de acuerdo a los resultados de la simulación del enlace GAD-Cerro, obtuvo el rendimiento *throughput* normalizado en la red utilizando el protocolo de

transporte TCP, el cual presenta un valor de 3,41 [Mbps], que representa el 62 % de la capacidad máxima de la red, en relación a la velocidad de transmisión teórica propuesta en la simulación es de 5,5 [Mbps].

### 5.5.5. Simulación enlace Cerro-Montañita.

#### 5.5.5.1. *Throughput del enlace Cerro-Montañita.*

La figura 5.12 muestra la información de la simulación de la red Cerro-Montañita, bajo los parametros establecidos en el archivo .tcl ejecutado en Ns2.1b9a+TeNs.



Simulation information:	
Simulation length in seconds:	48.9991968
Number of nodes:	2
Number of sending nodes:	2
Number of receiving nodes:	2
Number of generated packets:	24412
Number of sent packets:	22959
Number of forwarded packets:	0
Number of dropped packets:	3787
Number of lost packets:	0
Minimal packet size:	28
Maximal packet size:	1572
Average packet size:	1088.874
Number of sent bytes:	19765744
Number of forwarded bytes:	0
Number of dropped bytes:	5756240
Packets dropping nodes:	0 1

**Figura 5.12** Información de la simulación, red Cerro-Montañita.

#### 5.5.5.1.1. *Throughput en función de la red.*

Para obtener el Throughput de esta red Cerro-Montañita, se aplica la Ecuación (5.13), reemplazando los valores obtenemos:

$$Throughput\ de\ la\ red = \frac{19765744}{48,9992} \left[ \frac{Bytes}{s} \right] \quad (5.69)$$

$$Throughput\ de\ la\ red = 403389,1 \left[ \frac{bytes}{s} \right] \quad (5.70)$$

#### 5.5.5.1.2. *Throughput de la red en función del número de Nodos.*

Para obtener el *throughput* de la red en función de los números de nodos se aplica la Ecuación (5.20). Reemplazando los valores obtenidos en la simulación del enlace Cerro-Montañita, Figura 5.12, se obtiene:

$$\eta = \frac{8*(19765744)}{48,99919} \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.71)$$

$$\eta = 3227113,14 \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.72)$$

$$\eta = 3,22 [Mbps] \quad (5.73)$$

#### 5.5.5.1.3. *Throughput Real de la red en función al número de nodos.*

Para determinar el rendimiento real de la red Cerro-Montañita en función del número de nodos se utiliza la Ecuación (5.27). Remplazando los valores mostrados en la Figura 5.12 se obtiene lo siguiente:

$$r = \frac{3787}{22959} \quad (5.74)$$

$$r = 0,16494621 \quad (5.75)$$

$$\eta' = \frac{8 (19761744) (1-0,16494621)}{48,999197} \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.76)$$

$$\eta' = \frac{(186307680)(0,83505379)}{48,999197} \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.77)$$

$$\eta' = 2694813 \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.78)$$

$$\eta' = 2,69 [Mbps] \quad (5.79)$$

#### 5.5.5.1.4. *Throughput normalizado de la red en función al número de nodos.*

Para obtener el rendimiento normalizado de la red en función al número de nodos se utiliza la Ecuación (5.27). Reemplazando los valores se obtiene lo siguiente:

$$\eta_{\eta} = \frac{2,69 e^6}{5,5 e^6} \quad (5.80)$$

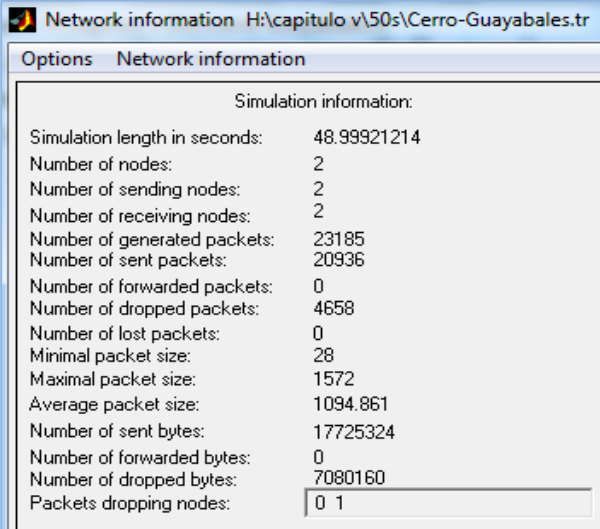
$$\eta_{\eta} = 0,489966 \quad (5.81)$$

Luego de aplicar las ecuaciones de acuerdo a los resultados de la simulación del enlace Cerro-Montañita, obtuvo el rendimiento *throughput* normalizado en la red utilizando el protocolo de transporte TCP, el cual presenta un valor de 2,69 [Mbps], que representa el 48,9 % de la capacidad máxima de la red, en relación a la velocidad de transmisión teórica propuesta en la simulación es de 5,5 [Mbps].

### 5.5.6. Simulación Enlace Cerro-Guayabales.

#### 5.5.6.1. *Throughput del enlace Cerro-Guayabales*

La Figura 5.13 muestra la información de la simulación de la red Cerro-Guayabales, bajo los parametros establecidos en el archivo .tcl.



Simulation information:	
Simulation length in seconds:	48.99921214
Number of nodes:	2
Number of sending nodes:	2
Number of receiving nodes:	2
Number of generated packets:	23185
Number of sent packets:	20936
Number of forwarded packets:	0
Number of dropped packets:	4658
Number of lost packets:	0
Minimal packet size:	28
Maximal packet size:	1572
Average packet size:	1094.861
Number of sent bytes:	17725324
Number of forwarded bytes:	0
Number of dropped bytes:	7080160
Packets dropping nodes:	0 1

**Figura 5.13** Información de la Simulación Cerro-Guayabales.

#### 5.5.6.1.1. *Throughput en función de la red.*

El Throughput o rendimiento de la red de datos está dado por el número de bits que pueden ser transmitidos sobre la red en un periodo de tiempo.

Para obtener el Throughput de esta red Cerro-Guayabales, se aplica la Ecuación (5.13), reemplazando los valores obtenemos:

$$\text{Throughput de la red} = \frac{17725324}{48,999212} \left[ \frac{\text{Bytes}}{s} \right] \quad (5.82)$$

$$\text{Throughput de la red} = 361747,1 \left[ \frac{\text{bytes}}{s} \right] \quad (5.83)$$

#### 5.5.6.1.2. *Throughput de la red en función del número de Nodos.*

Para obtener el throughput de la red en función de los números de nodos se aplica la Ecuación (5.16). Reemplazando los valores obtenidos en la simulación del enlace Cerro-Guayabales, Figura 5.13, se obtiene:

$$\eta = \frac{8*(17725324)}{48,99921} \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.84)$$

$$\eta = 2893976,98 \left[ \frac{\text{bits}}{s} \right] \quad (5.85)$$

$$\eta = 2,89 [\text{Mbps}] \quad (5.86)$$

#### 5.5.6.1.3. *Throughput Real de la red en función al número de nodos.*

Para determinar el rendimiento real de la red Cerro-Guayabales en función del número de nodos se utiliza la Ecuación (5.20). Remplazando los valores mostrados en la Figura 5.13 se obtiene lo siguiente:

$$r = \frac{4658}{20936} \quad (5.87)$$

$$r = 0,22248758 \quad (5.88)$$

$$\eta' = \frac{8 (17725324) (1-0,2224875) \left[ \frac{bits}{s} \right]}{48,999212} \quad (5.89)$$

$$\eta' = \frac{(141802592)(0,77751242) \left[ \frac{bits}{s} \right]}{48,99635} \quad (5.90)$$

$$\eta' = 2250103 \left[ \frac{bits}{s} \right] \quad (5.91)$$

$$\eta' = 2,25 [Mbps] \quad (5.92)$$

#### 5.5.6.1.4. *Throughput normalizado de la red en función al número de nodos.*

Para obtener el rendimiento normalizado de la red en función al número de nodos se utiliza la Ecuación (5.27).

Reemplazando los valores:

$$\eta_{\eta} = \frac{2,25 e^6}{5,5 e^6} \quad (5.93)$$

$$\eta_{\eta} = 0,40911 \quad (5.94)$$

Luego de aplicar las ecuaciones de acuerdo a los resultados de la simulación del enlace Cerro-Guayabales, obtuvo el rendimiento *throughput* normalizado en la red utilizando el protocolo de transporte TCP, el cual presenta un valor de 2,25 [Mbps], que representa el 40,9 % de la capacidad máxima de la red, en relación a la velocidad de transmisión teórica 5,5 [Mbps], propuesta en esta simulación.

## 5.6 Análisis de los Resultados Obtenidos

### 5.6.1 Análisis de los resultados obtenidos mediante protocolo de transporte TCP.



Una vez realizada la simulación de los enlaces considerados en la red WiFi Rural de largo alcance de Junín, se presentó un resumen del resultado obtenidos en las Figuras 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13 correspondientes a los enlaces GAD-Loma, Loma-Aguafría, Loma Andarieles, GAD-Cerro, Cerro-Montañita y Cerro-Guayabales respectivamente; allí se observa información relevante como: número de paquetes generados, enviados, eliminados, tiempo de simulación, bytes enviados, tamaño de paquete mínimo, máximo, entre otros; datos necesarios para la realización del análisis del rendimiento de la red en función de los parámetros previamente configurados. Adicionalmente en el *Anexo G*, se presentan imágenes al detalle de cada simulación.

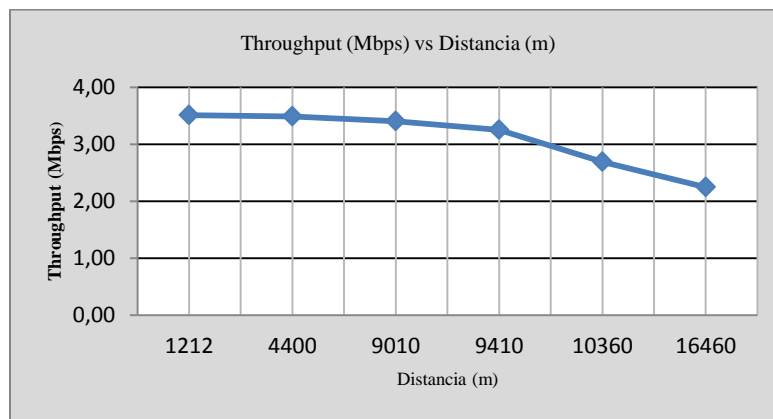
La Tabla 5.10 muestra una síntesis de los resultados de la simulación de los enlaces de la red WiFi rural de largo alcance, mediante ns2.1b9a + TeNs, de acuerdo a las distancias y las condiciones especificadas en el archivo .tcl. Se analiza el comportamiento de la transmisión de paquetes a través de la protocolo de transporte TCP.

**Tabla 5.10** Rendimiento de los Enlaces de la Red WiFi Rural de Junín.

Enlaces	Distancia (m)	Tiempo de Simulación (s)	Tasa de Transmisión (Mbps)	Paquetes Enviados	Bytes enviados	Paquetes eliminados	Throughput real de la red	Throughput Normalizado	Throughput %
GAD-Loma	1212	48,999125	5,50	26454	23288460	2005	3,51	0,64	63,89
Loma-Aguafría	4400	48,996349	5,50	25947	23288460	2128	3,49	0,63	63,47
GAD-Cerro	9410	48,999281	5,50	26008	22825482	2227	3,41	0,62	61,96
Loma-Andarieles	9010	48,998507	5,50	25351	22190244	2577	3,25	0,59	59,18
Cerro-Montañita	10360	48,999197	5,50	22959	19765744	3787	2,69	0,49	49,00
Cerro-Guayabales	16460	48,999212	5,50	20936	17725324	4658	2,25	0,41	40,91

Como se puede notar en el enlace de menor distancia 1212 metros el rendimiento de la red alcanza un 64 %, aproximadamente 3,5 Mbps de la tasa de transmisión utilizada en la simulaciones que es 5.5 Mbps de acuerdo al estándar 802.11b; la frecuencia usada es 2.4 GHz.

A partir de los 10 Km se nota una disminución más notable en el Throughput de la red, es el caso del enlace Cerro-Montañita que posee 10360 metros de distancia, el rendimiento alcanzado es del 49 %, al igual que el enlace Cerro-Guayabales llega a los 41 % con sus 16460 metros de distancia, logrando 2,25 Mbps. La Figura 5.14 muestra un gráfico en el que se modela el rendimiento en Mbps de cada enlace en función de la distancia.

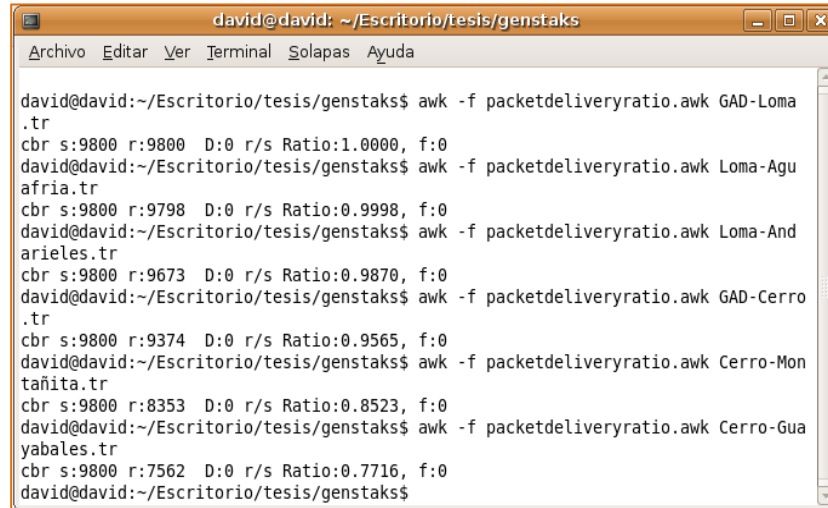


**Figura 5.14** Throughput de los Enlaces vs Distancia.

### 5.6.2 Análisis de los resultados obtenidos mediante protocolo de transporte UDP.

Para el caso del protocolo de transporte UDP se realizó un análisis del rendimiento de los enlaces en la presente simulación mediante la ejecución de un script .awk en el terminal de Ubuntu, para ello es necesario la inclusión de los archivos de trazas (.tr) productos de la simulación en el Ns2, los paquetes analizados corresponden a los enviados a través del protocolo de transporte UDP, el mismo que está asociado al agente “cbr” en el archivo de traza, la Figura 5.15 muestra los resultados de la ejecución del archivo packetdeliveryratio.awk, en el *Anexo H*, se explican la respectiva líneas de codificación del script; 9800 es la cantidad de paquetes

transmitidos en la simulación de los diferentes enlaces, como se aprecia en la mencionada imagen, se notó que a medida que se incrementa la distancia existe una disminución de los paquetes recibidos.



```
david@david: ~/Escritorio/tesis/genstaks
Archivo Editar Ver Terminal Solapas Ayuda

david@david:~/Escritorio/tesis/genstaks$ awk -f packetdeliveryratio.awk GAD-Loma
.tr
cbr s:9800 r:9800 D:0 r/s Ratio:1.0000, f:0
david@david:~/Escritorio/tesis/genstaks$ awk -f packetdeliveryratio.awk Loma-Agu
afria.tr
cbr s:9800 r:9798 D:0 r/s Ratio:0.9998, f:0
david@david:~/Escritorio/tesis/genstaks$ awk -f packetdeliveryratio.awk Loma-And
arieles.tr
cbr s:9800 r:9673 D:0 r/s Ratio:0.9870, f:0
david@david:~/Escritorio/tesis/genstaks$ awk -f packetdeliveryratio.awk GAD-Cerro
.tr
cbr s:9800 r:9374 D:0 r/s Ratio:0.9565, f:0
david@david:~/Escritorio/tesis/genstaks$ awk -f packetdeliveryratio.awk Cerro-Mon
tañita.tr
cbr s:9800 r:8353 D:0 r/s Ratio:0.8523, f:0
david@david:~/Escritorio/tesis/genstaks$ awk -f packetdeliveryratio.awk Cerro-Gua
yabales.tr
cbr s:9800 r:7562 D:0 r/s Ratio:0.7716, f:0
david@david:~/Escritorio/tesis/genstaks$
```

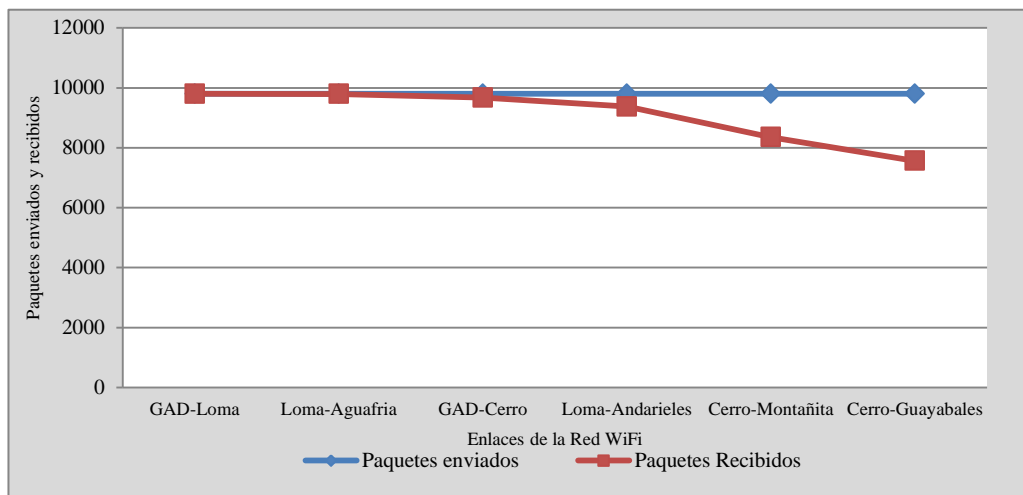
**Figura 5.15** Resultados de Packetdeliveryratio en el terminal de Ubuntu.

La información presentada en la Tabla 5.11 muestra la relación de recepción en la transmisión de paquetes a través del protocolo de transporte UDP de acuerdo a la distancia de los enlaces simulados.

**Tabla 5.11** Resultados de Packetdelivaryratio de los enlaces de la red WIFI de Junín

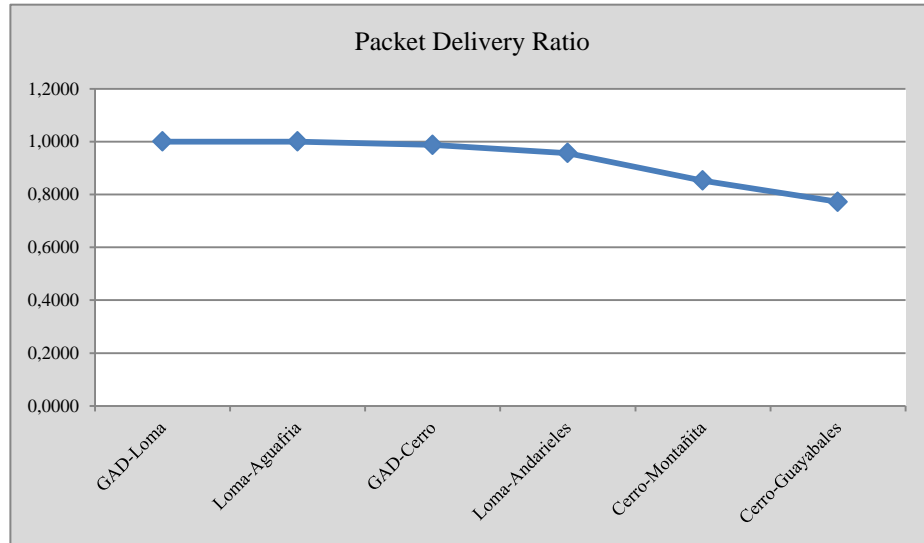
Enlaces	Distancia (m)	Paquetes enviados	Paquetes Recibidos	Packet Delivery Ratio
GAD-Loma	1220	9800	9800	1,0000
Loma-Aguafría	4400	9800	9798	0,9998
GAD-Cerro	9010	9800	9673	0,9870
Loma-Andarieles	9410	9800	9374	0,9565
Cerro-Montañita	10630	9800	8353	0,8523
Cerro-Guayabales	16460	9800	7562	0,7716

En la Figura 5.16 se observa información correspondiente a los paquetes enviados y paquetes recibidos en los enlaces contemplados en la simulación a través del protocolo de transporte UDP; a partir del enlace Loma-Andarieles, se visualiza una disminución de los paquetes recibidos 95 % del rendimiento de la red, la pérdida de paquetes es mínima con respecto a la distancia, es entendible este comportamiento en la simulación porque el protocolo UDP provoca poca carga adicional en la red, emplea cabeceras muy simples, además no emplea control de flujo, no ordena los paquetes transmitidos. El enlace Cerro-Guayabales de 16,4 Km de distancia, presenta un 77 % en la relación de recepción de paquetes, en general el rendimiento es aceptable para la transmisión de paquetes en tiempo real, útil para el envío de paquetes de audio o video, este protocolo mantiene un flujo constante de información.



**Figura 5.16** Paquetes enviados y recibidos mediante protocolo de transporte UDP.

La Figura 5.17 modela la relación de recepción de paquetes en la red WiFi rural de Junín a través del protocolo de transporte UDP.



**Figura 5.17** Packet Delivery Ratio de los enlaces de la RED WiFi Rural de Junín.

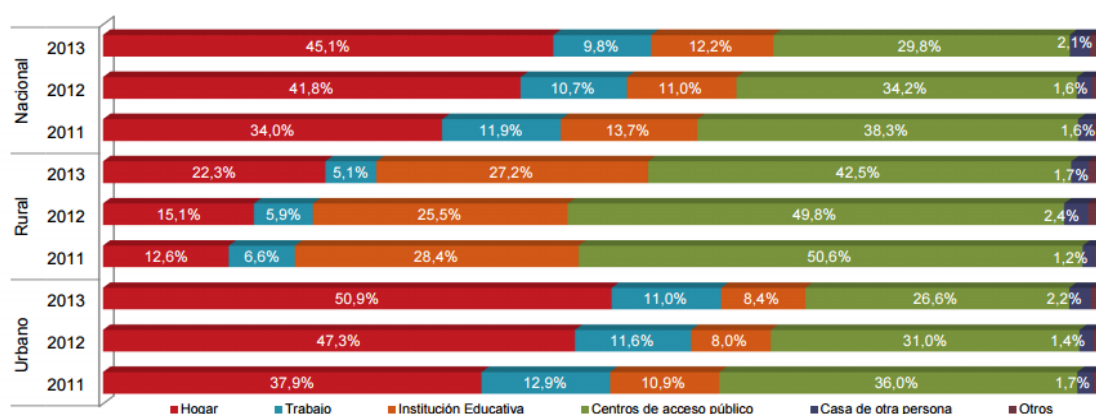
### **5.7. Calculo de la Capacidad requerida por la red WiFi rural de Junín.**

Para tener una idea un poco más acertada de la capacidad requerida por la red, es necesario darle un propósito, al diseño de la red WiFi rural. Luego de haber realizado la visita a cada sector, se comprobó que existen viviendas equidistantes, por lo que implementar una antena omnidireccional para dar internet mediante una red inalámbrica, beneficiaría a pocos habitantes de estos sectores rurales, en estas zonas no todos tienen algún tipo de receptor inalámbrico; se sugiere que cada nodo cliente debe aterrizar en un centro de información, tipo Infocentro rural, donde se concentrarían los habitantes de los centros poblados, cada área debería tener al menos, 5 ordenadores, y un teléfono IP, suficientes para que puedan utilizar el servicio de internet.

Lo sugerido en el párrafo anterior se afianza de acuerdo a las cifras presentadas por el INEC en el año 2013, en el reporte de Estadísticas sobre Tecnología de Información y Comunicación<sup>16</sup>, la

<sup>16</sup>[http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Sociales/TIC/Resultados\\_principales\\_140515.Tic.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/Resultados_principales_140515.Tic.pdf)

Figura 5.18 muestra datos referentes a los lugares de uso cotidiano de acceso al internet, en este caso nos centraremos en el sector rural, objeto de estudio de la presente investigación.



**Figura 5.18** Lugar de uso de internet por área.

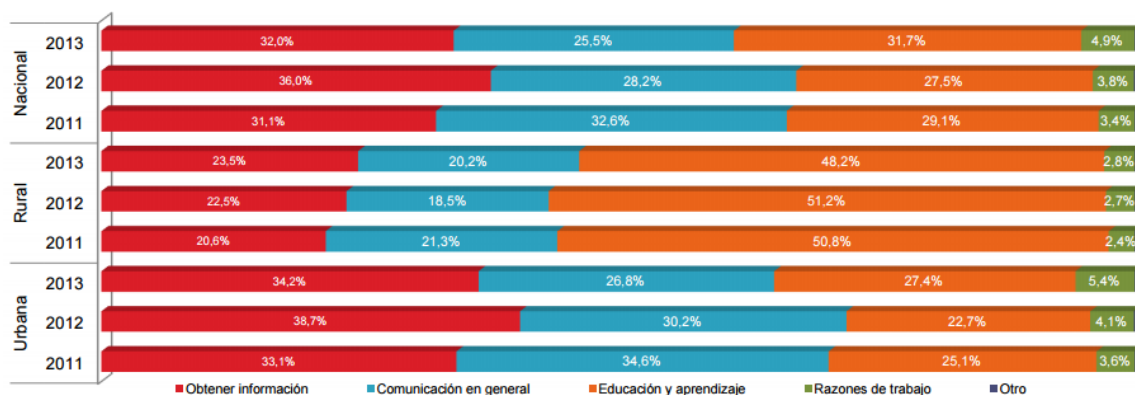
El reporte indica que del total de las personas que usan el internet en la zona rural, el mayor porcentaje de población lo usa en centros de acceso público con el 42,5%.

Otro aspecto que hay que considerar es que el uso de internet gratuito no afecte en su debido momento a la libre competencia, nos referimos a los permisionarios de servicio de valor agregado de internet, en este sentido se debería restringir ciertas aplicaciones y páginas web innecesarias, consumen un buen ancho de banda, lo ideal sería permitir paginas educativas orientadas a la investigación, fomento-productivo, comunicación, a la salud, turismo, y sobre todo a los páginas gubernamentales; para ello habría que discriminar ciertas páginas mediante un servidor tipo firewall-proxy como lo es endian-firewall, sería una opción válida.

Una vez definido cuál es el objetivo de la red WiFi rural procedemos a realizar el cálculo de la capacidad mínima aproximada para una normal transmisión de datos.

### 5.7.1. Estimación de la velocidad de transmisión para datos.

En el 2013, la Encuesta Nacional de Empleo Desempleo y Subempleo, realizada por el INEC<sup>17</sup>, preguntaron a los ciudadanos que uso le dan al internet, la Figura 5.19 muestra las respuesta de los diferentes sectores, en este caso, extraemos la información correspondiente al área rural y observamos, que el 48,2 % de las personas usó internet como como medio de educación y aprendizaje, el 23,5 % como fuente de información, mientras el 20,2 % lo utilizó como comunicación en general.



**Figura 5.19** Razones de uso de internet por área.

Asumiendo que se aplicarán normativas internas para el uso de la red WiFi rural, como control de tiempo de acceso por usuario, se estima una hora por usuario y de acuerdo al uso que se le da al internet en la zona rural, Tabla 5.12.

**Tabla 5.12** Distribución de tiempo (60 min) del uso de internet en una zona rural.

Razones de uso de internet	Tipo de tráfico	Porcentaje de uso (%)	Tiempo de uso (min)
<b>Educación y Aprendizaje</b>	Navegación Web	48,2	29
<b>Fuente de Información</b>	Descarga de archivos	23,5	14
<b>Comunicación en general</b>	Mails	20,2	12
<b>Trabajo y otros</b>	Transferencia de Archivos	8,1	5

<sup>17</sup> <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>

Para la realización del cálculo de la velocidad mínima requerida en los enlaces de la red WiFi rural de Junín, de acuerdo a las razones de uso del internet, se utilizará la siguiente Ecuación 5.95 [44].

$$Velocidad Transmisión = \left( \frac{\text{tamaño del archivo (Byte)}}{\text{tiempo (s)}} \times \frac{8\text{bits}}{1\text{Byte}} \right) Kbps \quad (5.95)$$

- **Navegación en la Web**

Las aplicaciones comunes utilizadas en la web como navegadores, motores de consulta, páginas Web, requieren un mínimo de 50 KB pero hay varias que tienen mayor contenido multimedia por lo que se considera 300 KB<sup>18</sup> y el tiempo de carga de estos portales electrónicos oscilan entre 5 y 10 segundos, escogimos el peor de los escenarios (10 s), aplicando la ecuación 5.95, tenemos:

$$Velocidad Transmisión = \left( \frac{300 (KByte)}{10 (s)} \times \frac{8\text{bits}}{1(Byte)} \right) Kbps \quad (5.96)$$

$$Velocidad Transmisión = 240 Kbps \quad (5.97)$$

- **Descarga de Archivos**

Por lo general, un archivo PDF en la web tiene un peso aproximado de 3MB, eso puede variar, para efectos de este cálculo se aplica ese valor. El tiempo utilizado para en descarga de archivos en una hora de acceso al internet por los usuarios, de acuerdo a la tabla 5.16, es de 14 minutos, reemplazando los valores obtenemos lo siguiente:

$$Velocidad Transmisión = \left( \frac{3(MB)}{14 (min)} \times \frac{1 (min)}{60(s)} \times \frac{1024 (KByte)}{1(MB)} \times \frac{8Kbits}{1(KByte)} \right) Kbps \quad (5.98)$$

$$Velocidad Transmisión = 29,25 Kbps \quad (5.99)$$

---

<sup>18</sup> <http://www.websiteoptimization.com/speed/tweak/website-speed-search-rankings-study/>



- **Correo Electrónico**

Lo que respecta al envío de mails se necesitan 100 Kbits de velocidad de transferencia en la red, pero si deseamos enviar un adjunto seguro se necesitaran mayores recursos, por el tamaño del anexo, se considera 3 MB, para realizar el cálculo requerido en el tiempo utilizado por un usuario en una hora mientras está al frente de un ordenador con internet.

$$Velocidad Transmisión = \left( (100Kbits) + \frac{3 (MB)}{12 (min)} \times \frac{1min}{60(s)} \times \frac{1024 KByte}{1(MB)} \times \frac{8Kbits}{1(KByte)} \right) Kbps \quad (5.100)$$

$$Velocidad Transmisión = 134,13 Kbps \quad (5.101)$$

- **Transferencia de Archivos.**

Para transferir un archivo normalmente a través de diferentes aplicaciones, según (Granizo. R, 2015, p.31) indica que “el tamaño promedio de un archivo comprimido es de 287 KB”. El tiempo promedio que un usuario realiza esta actividad es de 5 minutos en una hora de uso del internet. Aplicando la Ecuación 5.95 tenemos:

$$Velocidad Transmisión = \left( \frac{287 (KByte)}{5 (min)} \times \frac{1 min}{60(s)} \times \frac{8bits}{1(Byte)} \right) Kbps \quad (5.102)$$

$$Velocidad Transmisión = 7,65 Kbps \quad (5.103)$$

- **Videos**

La Tasas de bits para cargar un video normal es de 120 Kbps, en formato HD requiere 500 Kbits<sup>19</sup>. Para subir videos en *youtube*, con resolución de 1280 x 720, 720 píxeles se requieren al menos 1500 Kbits<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> <https://help.netflix.com/es/node/306>

<sup>20</sup> <https://support.google.com/youtube/answer/2853702?hl=es-419>

Luego de haber realizado una estimación de los requerimientos de velocidad de transmisión mínimas en la red WiFi rural, se modelan los resultados en la Tabla 5.13:

**Tabla 5.13** Velocidad de transmisión requerida por los usuarios en una hora pico.

<b>Tipo de tráfico</b>	<b>Velocidad de transmisión (Kbps)</b>
<b>Navegación Web</b>	240,00
<b>Descarga de archivos</b>	29,25
<b>Mails</b>	134,13
<b>Transferencia de Archivos</b>	7,65
<b>Videos</b>	120,00
<b>Total</b>	531,03

Existen 4 localidades: Aguafría, Andarieles, Montañita y Guayabales; y dos estaciones repetidoras. Se han considerado 5 ordenadores por sitio, para efecto de este cálculo, de los cuales seguro un usuario en cada centro informático rural, hará uso de la red WiFi al mismo tiempo.

Entonces multiplicamos, la velocidad de transmisión obtenida en la Tabla 5.13 por el número de usuarios conectados al mismo tiempo, tenemos:

$$Velocidad Transmisión_{Total} = \# \text{ de Usuarios}_{simultaneos} * Velocidad \text{ de Transmisión (Kbps)} \quad (5.104)$$

$$Velocidad Transmisión_{Total} = 4 * 531,03 \text{ (Kbps)} \quad (5.105)$$

$$Velocidad Transmisión_{Total} = 2,12 \text{ Mbps} \quad (5.106)$$

La velocidad de transmisión mínima requerida la red WiFi rural de Junín es de 2.12 Mbps, de acuerdo a las consideraciones realizadas para el efecto.

## 5.8. Cotejamiento de la Capacidad mínima requerida vs el Throughput de la Simulación.

Luego de haber realizado una estimación mínima de la velocidad de transmisión que necesitaría la red WiFi en cada uno de los enlaces (2.12 Mbps), se coteja esa capacidad con los valores del Troughput real de la red, obtenidos mediante la simulación en Ns2, los mismos que se presentan en la Tabla 5.14.

**Tabla 5.14** Cotejamiento de los valores del Throughput obtenidos en la Simulación vs los requerimientos de velocidad calculados.

Enlaces	Distancia (m)	Throughput real de la red (Mbps)	Requerimiento mínimo de Red (Mbps)	Cumple
GAD-Loma	1212	3,51	2,12	Si
Loma-Aguafría	4400	3,49	2,12	Si
GAD-Cerro	9410	3,41	2,12	Si
Loma-Andarieles	9010	3,25	2,12	Si
Cerro-Montañita	10360	2,69	2,12	Si
Cerro-Guayabales	16460	2,25	2,12	Si

Como se aprecia el cotejamiento de los valores en la en la Tabla 5.14, se concluye que el rendimiento de los enlaces mediante la simulación en ns2, cumplen con la estimación de la capacidad de transmisión del diseño de la red WiFi rural, en cada uno de los enlaces, lo que significa que esta propuesta posee factibilidad en su diseño.

## Capítulo VI

### 6. Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1. Conclusiones

El presente estudio dejó varias conclusiones sobre el uso de la tecnología WiFi para largas distancias, una de la más relevantes es sin duda, la de modificar los parámetros de la capa MAC (*ACKTimeout*, *CTSTimeout* y *SlotTime*) para que se pueda transmitir datos a una distancia mayor a las que propone el estándar original 802.11 en sus diferentes versiones, convirtiéndose en una opción válida para aplicaciones de esta tecnología, en zonas rurales aisladas de países en vía de desarrollo.

A continuación se muestran otras conclusiones del trabajo final de esta investigación:

- La distancia en el diseño de la red WiFi es un factor determinante entre los enlaces, para contrarrestarlo, se requiere un adecuado dimensionamiento de la potencia de transmisión, ganancia de las antenas, la sensibilidad del receptor y conocimiento de las características de propagación en la banda elegida; siempre tomando como referencia los límites de potencia de transmisión permitidos en las legislaciones de cada nación.
- Se determina que los canales de la banda 2.4 GHz, están menos utilizados que los de la franja de frecuencia de 5 GHz, de acuerdo al análisis del espectro radioeléctrico detallado en el Capítulo III.

- Se concluye que la tarjeta Atheros XR2 a través del driver Mad-WiFi permite modificar los valores de la capa MAC del estándar 802.11 a/b/g/n, a través del Sistema Operativo Libre Voyage;
- Se determinó, que se puede aplicar seguridad en el diseño de red WiFi rural, con la inclusión de un servidor de autenticación, además de la creación de políticas a nivel de administración, control y uso de la red.
- Mediante el presente estudio se concluye que el diseño de la red WIFI rural de Junín, tiene viabilidad en el cálculo de propagación, en la zona de Fresnel, además posee línea de vista en cada uno de los enlaces.
- Se concluye que la creación de clases de servicios permitirán la inclusión de políticas de Calidad de Servicio, para administrar la transmisión de paquetes de manera preferente, a través de la diferenciación de servicio, en base a un análisis del tráfico de paquetes que concurriría por la red WiFi rural de Junín.
- Mediante la simulación del diseño de la red con ns-21b9a + TeNS 1.2., se determinó que es viable implementar los enlaces de largas distancia utilizando tecnología WiFi.

- El costo de la implementación del diseño es \$ 26706.00, aceptable considerando el beneficio que se obtendrá, al permitir el acceso al servicio de internet, a los ciudadanos de esta zona rural en Junín.

## **6.2. Recomendaciones**

Para implementar redes de comunicaciones de largo alcance en zonas rurales, se recomienda la aplicación de la tecnología WiFi utilizando el protocolo de censado CSMA/CA, para permitir el acceso universal del internet, al amparo de las leyes vigentes.

- Para el nivel gobernante del GAD de Junín, luego de realizar el diseño de la red WiFi rural del Cantón Junín, la misma que presenta viabilidad técnica y económica; se recomienda adoptar la implementación a futuro del presente estudio, ya que estos centros poblados se beneficiarán, con el acceso al servicio del valor agregado de internet, como una herramienta dinamizadora del desarrollo local, contribuyendo además, a la disminución de la brecha digital.
- Se recomienda el uso de un software, para el desarrollo del diseño topográfico, como parte de la planificación de una red WiFi; en esta investigación se utilizó Radio-Mobile con el complemento de Google earth.
- Se recomienda la ejecución del script.tcl mediante el simulador ns-2.1b9a + TeNs 1.2, que mejora la simulación de enlaces de largas distancias; ésta a su vez se instaló en la

Ubuntu 8.04. En las versiones superiores de esta distribución de Linux, existen problemas de compatibilidad con el compilador, siendo una mejor alternativa con gcc-3.3 y g++-3.3, que garantiza óptimo funcionamiento.

- Para la implementación de calidad de servicio en la red, se recomienda la diferenciación de servicio a través de routers que permitan trabajar con clases y políticas de servicio, esto sin duda mejorará el rendimiento de la red WiFi rural, versus el costo en la implementación de la Red WiFi rural del cantón Junín.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Ministerio de Telecomunicaciones. (2012). Plan Nacional de Banda Ancha: Políticas Públicas para La Universalización de la Banda Ancha en el Ecuador. Quito: Autores.
- [2] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Censo de Población y Vivienda del Ecuador, Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda>
- [3] Asamblea Constituyente. (2008). Constitución de la República del Ecuador. p.25. Quito: Autores.
- [4] Asamblea Nacional. (2011). Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización, p.150. Quito: Autores.
- [5] Ministerio de Telecomunicaciones. (2012). Plan Nacional de Banda Ancha: Políticas Públicas para la Universalización de la Banda Ancha en el Ecuador, p.7. Quito: Autores.
- [6] IEEE. (1997). 802.11 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification: Local and metropolitan area network. Printed in the United States of America: Author.
- [7] IEEE. (2013). 802.11ac Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6GHz, p.10. Printed in the United States of America. Author.
- [8] Sonesh, S., Patra, R., Nedeveschi, S., y Brewer, E. . (2008). Deploying a Rural Wireless Telemedicine System: Experiences in Sustainability. University of California, Berkeley. Recovery:<http://tier.cs.berkeley.edu/docs/TelemedicineSustainability.pdf>.
- [9] EHAS. (2004). Sistemas WiFi. Recuperado de <http://www.ehas.org/que-hacemos/investigacion-y-desarrollo/sistemas-wifi/>.
- [10] Rendón, A., Ludeña, P. y Martínez, A. (2011). Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para zonas rurales. Aplicación a la atención de salud en países en desarrollo. (p.125-126) Madrid: CYTED.
- [11] Camacho, L., Quispe, R., Córdova, C., Liñán, L., y Chávez, D. (2009). WiFi Based Long Distance, (1er ed.), p.52. Perú: Autor.
- [12] Consejo Nacional de Telecomunicaciones. (2012). Plan Nacional de Frecuencias: Cuadro Nacional de atribuciones de Frecuencias, p.17, 33, 34,78, 83. Quito.
- [13] Consejo Nacional de Telecomunicaciones. (2010). Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, p.4. Quito.
- [14] Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). (2014). Telecomunicaciones/TIC para zonas rurales y distantes, p.33. Ginebra: Autores.
- [15] Rendón, A., Ludeña, P. y Martínez, A (Ed.). (2011). Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para zonas rurales. Aplicación a la atención de salud en países en desarrollo (1er ed.). p.127. Madrid: CYTED.
- [16] Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). (2012). Reglamento de Radiocomunicaciones, Artículos (V.1), p.37. Ginebra: Autores.
- [17] CONATEL. (2012). Plan Nacional de Frecuencias. Notas de la Región 2 al cuadro nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia, p.150. Quito.




- [18] Signal Hound. (2015). User Manual Signal Hound SA124B. Test Equipment Plus, p.11. Washington: Recuperado de <http://signalhound.com/download/usb-sa124b-user-manual/https://www.signalhound.com/sigdownloads/SA124B/SA124B-User-Manual.pdf>
- [19] Roger Coudé. (2015). Radio-Mobile-RF propagation simulation software. Recuperado de <http://Radio-Mobile.pe1mew.nl>
- [20] Voyage. (2015). Voyage Design and Consultants. Recovery: <http://linux.voyage.hk/>
- [21] Segundo Suplemento-Registro Oficial N°283. (2014, 7 de julio). Ordenanza que regula la utilización u ocupación del espacio público o la vía pública y el espacio aéreo municipal, suelo y subsuelo, por la colocación de estructuras, postes y tendidos de redes pertenecientes a personas naturales o jurídicas privada. Art. 16 Infraestructura Compartida. Junín, Ecuador.
- [22] ANSI/IEEE. (1999). Std. 802.11. «Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications». New York: IEEE Press.
- [23] IEEE. (2004). Std. 802.11i. «Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications». New York: IEEE Press.
- [24] IEEE. (2004). Std. 802.1x. «IEEE Standard for local and metropolitan area networks Port - Based Network Access Control», New York IEEE Press.
- [25] FreeRadius. (2015). The FreeRADIUS Project. Recuperado de <http://freeradius.org/>.
- [26] Pontificia Universidad Católica del Perú. (2008). Redes Inalámbricas para Zonas Rurales. (1er ed.), p.64. Perú.
- [27] ITU. (2012). Cálculo de Atenuación en el espacio libre. Recuperado de [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-I!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-I!!PDF-S.pdf), (V. 4) Anexo1, p.32. Ginebra.
- [28] WNDW. (2013). Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo, (4ta. Ed.), p.190, 449. Copenhagen.
- [29] VINT. (2015, 14 de Mayo). VINT Project. Virtual InterNetwork Testbed. Recuperado de <http://www.isi.edu/nsnam/vint/>
- [30] Heidemann, J., Estrin, D. (2015, 15 de mayo). SAMAN Project, Recuperado de <http://www.isi.edu/saman/index.html>
- [31] Heidemann, J., Estrin, D., Papadopoulos, C. y Haldar, P. (2015, 15 de mayo). CONSER Project. Recuperado de <http://www.isi.edu/conser/index.html>
- [32] ICSI. (2015, 15 de mayo). ICIR Project. The ICSI Networking and Security Group. Recuperado de <http://www.icir.org/>
- [33] ISI. (2015, 15 de mayo). Ns: Change History, Recuperado de: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/CHANGES.html>
- [34] Indian Institute of Technology. (2015, 03 de junio). The Enhanced Network Simulator (Release 1.2). Developed at Department of Computer Science & Engineering, Kanpur, India., Recuperado de <http://www.cse.iitk.ac.in/users/braman/tens/>
- [35] Henderson T. (2011). Radio Propagation Model, Free-Space. Recuperado de <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/node217.html>
- [36] Henderson T. (2011). Radio Propagation Model, Two-Ray Ground. Recuperado de <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/node218.html>
- [37] Henderson T. (2011). Radio Propagation Model, Shadowing. Recuperado de <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/node219.html>

- [38] Siddharth, S. (s. f. ). The Enhanced Network Simulator (Release Version 1.2) (Tesis de maestría). Department of Computer Science & Engineering, Indian Institute of Technology, Kanpur, India. Recuperado de <http://www.cse.iitk.ac.in/users/braman/tens/>
- [39] IEEE. (2007). IEEE Standar for Information technology telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks Specific requirements. 802.11 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification. ACK Procedure. p.268. Printed in the United States of America. Author.
- [40] IEEE. (2012). IEEE Standar for Information technology telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks Specific requirements, 802.11 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification. ACK Procedure. p.384. Printed in the United States of America. Author.
- [41] Ludeña , P. (2011). Estudio de Aplicabilidad del estándar 802.11 n, para redes de larga distancia para entornos rurales de América Latina (Tesis de maestría). Universidad Rey Juan Carlos. Madrid, España.
- [42] Simó, F. (2007). Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- [43] Cano, I., y Almeida, F. (2012). Análisis del desempeño de una red con tecnología WIFI para largas distancias en la región costa del Ecuador (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, p.142, 143, 144. Sangolquí, Ecuador.
- [44] Granizo, R. (2015). Diseño de la Infraestructura de Comunicación de Datos para los Centros y Sub-centros de Salud en el Cantón Latacunga (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.

## Anexo A

Parte pertinente de sesión de Consejo, para escoger los centros rurales más poblados de Junín, para el diseño de la red WiFi rural de largo alcance:




Gobierno  
Autónomo Descentralizado  
Municipal del Cantón Junín  
**Secretaría General**

**PARTE PERTINENTE DEL ACTA DE LA SESIÓN ORDINARIA DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN JUNÍN, CELEBRADA EL DÍA VIERNES 26 DE SEPTIEMBRE DE 2014.**


**INTERVINIENTES:** Ing. Kléber Miguel Solórzano Villavicencio, Alcalde; Dr. Agustín Fortunato Navia García, Vicealcalde, Lcda. Lidice Patricia Intriago Giler, Ana Cecilia Intriago Miranda, Ing. Baltazara Elizabeth Palacios Alcivar; e, Ing. Julio César Vera Cadena. Actúa el señor Ab. Juan Carlos Espinales Rodríguez y el Ab. Yonny Gabriel Moreira Zambrano, en su calidad de Procurador Síndico y Secretario General, respectivamente.

**4.- ANÁLISIS Y APROBACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN DE POSGRADO DEL ING. DAVID FERNANDO PEÑARRIETA BRAVO, CUYO TEMA ES: “DISEÑO DE UNA RED WIFI DE LARGO ALCANCE, A TRAVÉS DEL ESPECTRO NO LICENCIADO, PARA PERMITIR EL ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET DE BANDA ANCHA, EN LOS SECTORES MÁS POBLADOS DE LA ZONA RURAL DEL CANTÓN JUNÍN”.**- Al entrar a este punto el señor Alcalde pide al señor Secretario haga pasar a la alcaldía al Ing. David Peñarrieta Bravo, quien inmediatamente hace su ingreso agradeciendo la acogida brindada e inicia su exposición manifestando que tal como lo señaló en su oficio es estudiante de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en donde como requisito para el postgrado ha considerado la realización del tema de investigación denominado **DISEÑO DE UNA RED WIFI DE LARGO ALCANCE, A TRAVÉS DEL ESPECTRO NO LICENCIADO, PARA PERMITIR EL ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET DE BANDA ANCHA, EN LOS SECTORES MÁS POBLADOS DE LA ZONA RURAL DEL CANTÓN JUNÍN**, es necesario para este proyecto establecer compromisos de cooperación a fin de que la Municipalidad me pueda brindar la información necesaria en el desarrollo y diseño de dicha red wifi. Se han considerado los siguientes sectores de la zona rural más poblados para desplegar la red: Agua Fria, Montañita, Guayabales y Andarieles. Una vez escuchada la exposición del Ing. David Peñarrieta el señor Alcalde y los señores Concejales coincidieron en que este es un tema que beneficiará en su momento a los moradores de la zona rural del cantón, por lo cual el Concejal Julio Vera Cadena, Concejal Urbano, mociona se apruebe el proyecto presentado por el Ing. David Peñarrieta Bravo. Esta moción es respaldada por la Concejal Ab. Ana Cecilia Intriago Miranda. No habiendo otra moción el señor Alcalde dispone al señor Secretario tome la votación pertinente. Una vez acogida la disposición del señor Alcalde, el Secretario informa que **QUEDÓ APROBADA POR UNANIMIDAD LA INVESTIGACIÓN DE POSGRADO DEL ING. DAVID FERNANDO PEÑARRIETA BRAVO, CUYO TEMA ES: “DISEÑO DE UNA RED WIFI DE LARGO ALCANCE, A TRAVÉS DEL ESPECTRO NO LICENCIADO, PARA PERMITIR EL ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET DE BANDA ANCHA, EN LOS SECTORES MÁS POBLADOS DE LA ZONA RURAL DEL CANTÓN JUNÍN”, RATIFICANDO EL COMPROMISO DE QUE LA MUNICIPALIDAD, ATRÉVÉS DE LAS DIFERENTES DIRECCIONES Y JEFATURA PERMITAN LA OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL DESARROLLO DEL MENCIONADO TEMA DE TESIS.**- LO certifico.- (Fdo.). Ab. Yonny Gabriel Moreira Zambrano, Secretario General.- CERTIFICO: Que la parte pertinente que antecede es fiel copia de su original la misma que está inserta en el libro de sesiones del Concejo Cantonal de Junín. –

Ab. Yonny Gabriel Moreira Zambrano  
**SECRETARIO GENERAL**



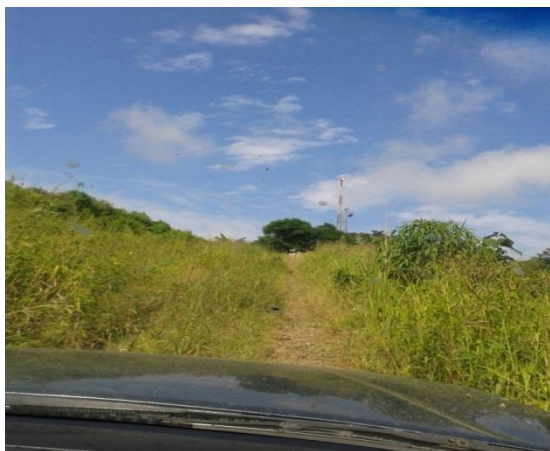
Sección: Av. Eloy Alfaro y calle Coronel García  
X : (593) 5 268 99 18  
il : [alcaldia@municipiodejunin.gob.ec](mailto:alcaldia@municipiodejunin.gob.ec)  
b : [www.municipiodejunin.gob.ec](http://www.municipiodejunin.gob.ec)





## **Anexo B**

Imágenes de los sectores rurales de Junín, escogidos para el diseño de la red WiFi de largo alcance, los mismos que tienen accesibilidad, y energía eléctrica.



**Accesibilidad en la Loma de Junín.**



**Energía eléctrica en el sector de la Loma de Junín**



**Sitio Aguafría, sector El Caucho de Junín, con accesibilidad y energía eléctrica.**



**Sitio Andarieles de Junín, con accesibilidad y energía eléctrica.**



**Acceso al Cerro de Junín**



**Energía eléctrica en el Cerro de Junín**



**Accesibilidad y electricidad en el sitio  
Montañita de Junín**



**Accesibilidad y electricidad en el sitio  
Guayabales de Junín**

## **Anexo C**

### **1. Especificaciones Técnicas de la antena direccional 2.4 GHz - HG2424EG**

#### **HyperLink Wireless 2.4 GHz 24 dBi Die Cast Grid Antenna Model: HG2424EG**

##### **Applications**

- 2.4 GHz ISM band
- IEEE 802.11b/g/n Wireless LAN, Wifi systems
- Long range direction, Point to Point and Point to Multi-point systems
- Wireless bridges and backhaul applications
- Wireless video systems

##### **Features**

- Die cast aluminum construction with UV stable finish
- All weather operation
- 8° beam-width
- 12 inch coax lead
- Two piece grid design, easy to assemble



##### **Description**

The HyperLink HG2424EG High-Performance Reflector Grid Wi-Fi Antenna provides 24 dBi gain with an 8 degree beam-width for long-range directional applications. Applications include point to point systems, point to multi-point and wireless bridges in the 2.4GHz ISM band as well as IEEE 802.11b/g/n wireless LAN systems. It can be installed for either vertical or horizontal polarization.

This 24 dBi grid antenna's construction features a die cast aluminum reflector grid for good strength and light weight. This antenna's 2-piece reflector grid is simple to assemble and significantly reduces shipping costs. The grid surface is UV powder coated for durability and aesthetics. The open-frame grid design minimizes wind loading.

The HG2424EG antenna is supplied with a tilt and swivel mast mount kit. This allows installation at various degrees of incline for easy alignment. It can be adjusted up or down from 0° to 60°.



## Specifications

### Electrical Specifications

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	24 dBi
Horizontal Beamwidth	9 degrees
Vertical Beamwidth	11 degrees
Front to Back Ratio	>=30dB
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	100 Watts
VSWR	< 1.5:1 avg.

### Mechanical Specifications

Weight	6 lbs. (2.7 kg)
Grid Dimensions	39.5 in (100 cm) x 23.5 in (60 cm)
Mounting	1.25 - 2 in. (31.8 - 50.8 mm) dia. mast
RoHS Compliant	Yes
Operating Temperature	-40° C to 85° C (-40° F to 185° F)
Lightning Protection	DC Short

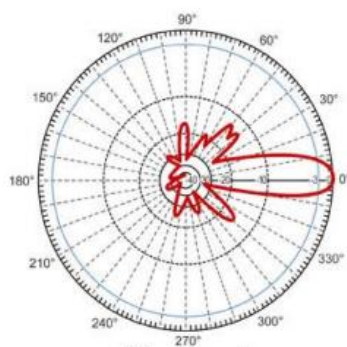
### Wind Loading Data

Wind Speed (MPH)	Loading
100	80.5 lb.
130	125.5 lb.

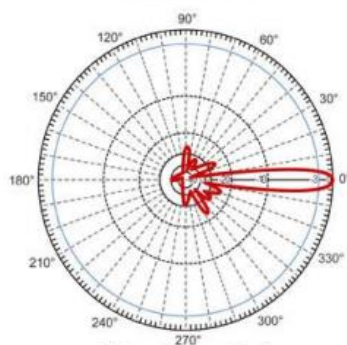
### Connector and Package Options

Connector	Packaging
NF	Single and 5-packs
NM	Single and 5-Packs
Call for others	Single Antenna

### RF Antenna Gain Patterns



**Vertical**

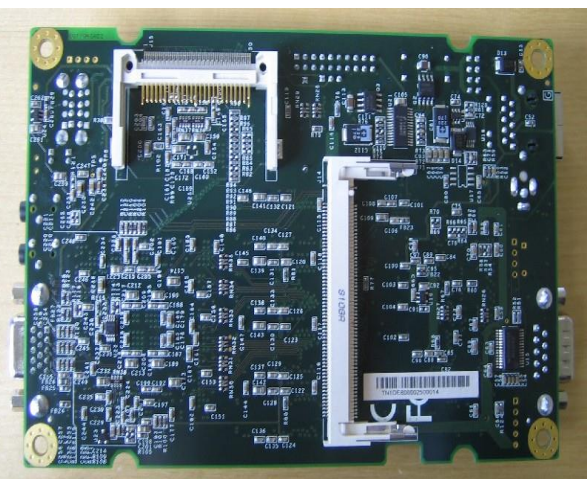
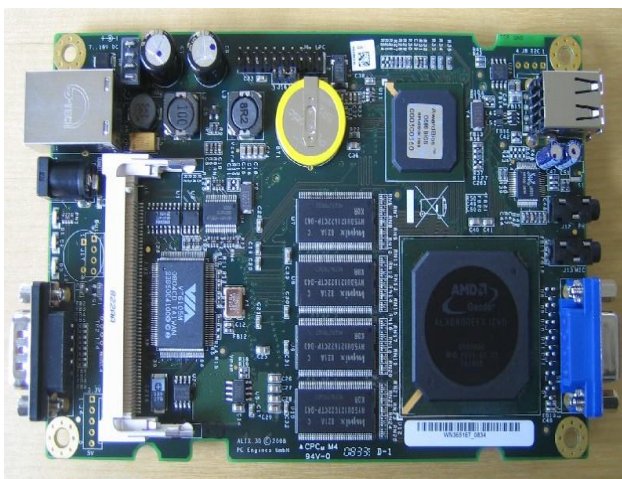


**Horizontal**




## 2. Especificaciones Técnicas del enrutador inalámbrico alix3d3.

PC Engines™	
AUX   APU   CompactFlash Adapters   Test Tools   Attic   Info   Shop   Support	
alix3d3	System board
Status	active
Part numbers	alix3d3 = 1 LAN / 2 miniPCI / LX800 / 256 MB / USB / VGA / audio - designed for thin clients or networked audio players.
Use with	<a href="#">box2c</a> indoor enclosure <a href="#">brk3c3</a> bracket for box2c
Spec	<ul style="list-style-type: none"> <li>CPU: 500 MHz AMD Geode LX800</li> <li>DRAM: 256 MB DDR DRAM</li> <li>Storage: CompactFlash socket</li> <li>Power: DC jack or passive POE, min. 7V to max. 20V</li> <li>Three LEDs</li> <li>Expansion: 2 miniPCI slots, LPC bus</li> <li>Connectivity: 1 Ethernet channel (Via VT6105M 10/100)</li> <li>I/O: DB9 serial port, dual USB, VGA, audio headphone out / microphone in</li> <li>RTC battery</li> <li>Board size: 100 x 160 mm</li> <li>Firmware: Award BIOS</li> </ul>
Customer options	I2C bus, buzzer
ALIX.3D changes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Add CMOS reset jumper.</li> <li>Soldering option for line in instead of MIC.</li> <li>Add test points for S/PDIF interface.</li> <li>Increase USB current limit.</li> <li>Add test points at switch pins for easier console restore.</li> <li>Populate buzzer driver circuit.</li> <li>Change J4 header to COM2.</li> <li>Add optional power in header.</li> <li>Reduce conducted EMI on DC jack.</li> <li>Add second Poscap on 3.3V rail to ruggedise for high power radios.</li> </ul>
Documentation	<a href="#">PDF</a>
BIOS updates	<a href="#">beta</a> Various fixes. <a href="#">current</a> Fix LEDs, VGA DDC issue (boot hang), free up MFGPT timers. <b>10/06/08</b> Default = UART port B disable. Please use zapmos.exe when upgrading to make sure it sticks... <b>7/01/08</b> fixed serial port (see advanced chipset menu, scroll down). Please disable UART port B, conflict with VGA DDC. Please note that this board uses Award BIOS, tinyBIOS does not support VGA...
Drivers	Linux, *BSD: should be included in recent distributions. Windows XP <a href="#">audio / video / crypto drivers</a> Windows XP <a href="#">via VT6105M network driver</a>
Manufacturer	PC Engines
Origin	Taiwan
Schematic	<a href="#">PDF</a>




### 3. Características Técnicas de la tarjeta inalámbrica



**XTREMERange2**  
Carrier-Class 2.4GHz 802.11b/g Radio Module

The XtremeRange series of radio modules by Ubiquiti leverages our strong knowledge and experience gained from customer interactions, field performance evaluations, and lab research; and improves upon the original and highly successful SuperRange series of high-performance 802.11 radio cards. The XtremeRange2 is a carrier-class 802.11b/g based 2.4GHz radio module specifically designed for mesh, bridging, and infrastructure applications requiring the high levels of performance and reliability.



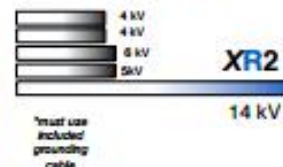
**Designed to Link Farther and Faster**

*Built to Last Outdoors in Harshesht Environments*

FEATURES
600mW Output Power
ESD/EMP Protection
Industry-Best Sensitivity
Extended Temperature
Enhanced Filtering
5/10/20/40 MHz Channels
MMCX Ant. Connector



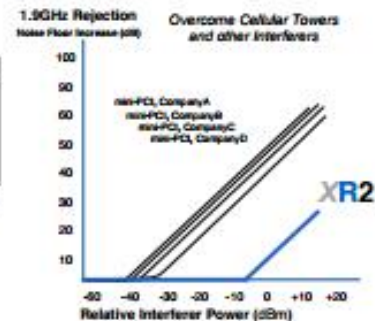
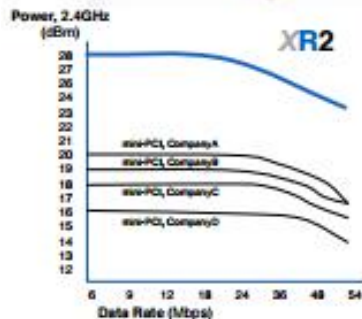
RF ESD/EMP Immunity Threshold vs. Standard Cards



*Built for Industrial / Rugged Applications*

RF ESD/EMP Earth Ground Cable

*Built-in HeatSink for Temperature Performance*





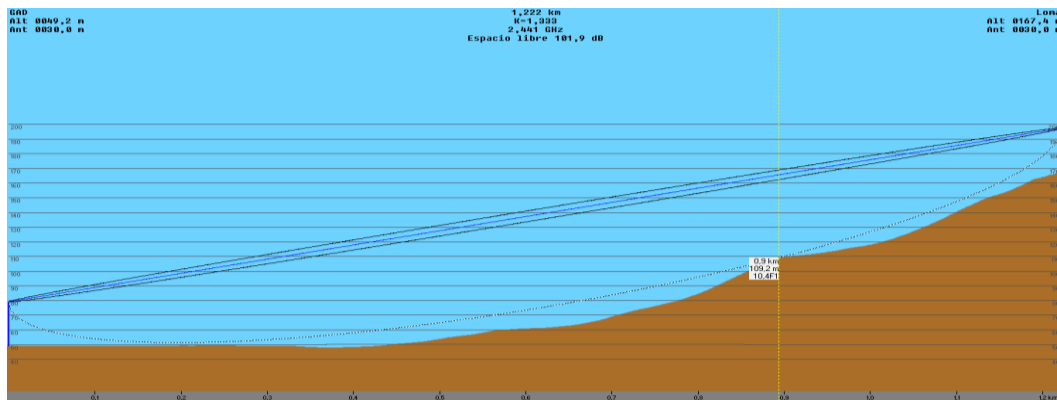
# XTREMERange2

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

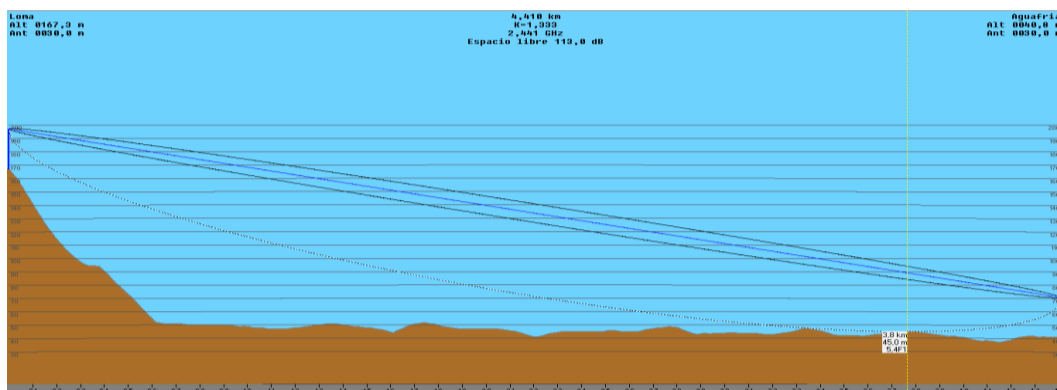
CARD INFORMATION			
Chipset	Atheros, bgn Generation, AR5414		
Radio Operation	IEEE 802.11b/g, 2.4GHz		
Interface	32-bit mini-PCI Type IIIA		
Operation Voltage	3.3VDC		
Antenna Ports	Single MMCX		
Temperature Range	-45C to +90C (extended temp version up to +95C)		
Security	WPA, WPA2, AES-CCM & TKIP Encryption, 802.1x, 64/128/152bit WEP		
Data Rates	6Mbps, 9Mbps, 12Mbps, 24Mbps, 36Mbps, 48Mbps, 54Mbps		
TX Channel Width Support	5MHz / 10MHz / 20MHz / 40MHz		
RoHS Compliance	YES		
REGULATORY INFORMATION			
Wireless Modular Approvals	FCC Part 15.247, IC RS210		
RADIO OPERATING FREQUENCY 2412-2462 MHz			
TX SPECIFICATIONS			
802.11b	DataRate	TX Power	Tolerance
	1Mbps	28 dBm	+/-1dB
	2Mbps	28 dBm	+/-1dB
	5.5Mbps	28 dBm	+/-1dB
	11Mbps	28 dBm	+/-1dB
802.11g OFDM	6Mbps	28 dBm	+/-1dB
	9Mbps	28 dBm	+/-1dB
	12Mbps	28 dBm	+/-1dB
	18Mbps	28 dBm	+/-1dB
	24Mbps	28 dBm	+/-1dB
	36Mbps	26 dBm	+/-1dB
	48Mbps	25 dBm	+/-1dB
	54Mbps	24 dBm	+/-1dB
RX SPECIFICATIONS			
802.11b	DataRate	Sensitivity	Tolerance
	1Mbps	-97 dBm	+/-1dB
	2Mbps	-96 dBm	+/-1dB
	5.5Mbps	-95 dBm	+/-1dB
	11Mbps	-92 dBm	+/-1dB
802.11g OFDM	6Mbps	-94 dBm	+/-1dB
	9Mbps	-93 dBm	+/-1dB
	12Mbps	-91 dBm	+/-1dB
	18Mbps	-90 dBm	+/-1dB
	24Mbps	-86 dBm	+/-1dB
	36Mbps	-83 dBm	+/-1dB
	48Mbps	-77 dBm	+/-1dB
	54Mbps	-74 dBm	+/-1dB
ADJUSTABLE CHANNEL SIZE SUPPORT (Increase Channel Capacity or Increase Throughput)			
5MHz	10MHz	20MHz	40MHz (Turbo)
CURRENT CONSUMPTION INFORMATION			
TX CURRENT CONSUMPTION			
802.11b	DataRate	Current	Tolerance
	1Mbps	1.30 A	+/-100mA
	2Mbps	1.30 A	+/-100mA
	5.5Mbps	1.30 A	+/-100mA
	11Mbps	1.30 A	+/-100mA
802.11g OFDM	6Mbps	1.30 A	+/-100mA
	9Mbps	1.30 A	+/-100mA
	12Mbps	1.30 A	+/-100mA
	18Mbps	1.30 A	+/-100mA
	24Mbps	1.30 A	+/-100mA
	36Mbps	1.10 A	+/-100mA
	48Mbps	1.00 A	+/-100mA
	54Mbps	0.90 A	+/-100mA
RX CURRENT CONSUMPTION			
802.11b	DataRate	Sensitivity	Tolerance
	1Mbps	300 mA	+/-100mA
	2Mbps	300 mA	+/-100mA
	5.5Mbps	300 mA	+/-100mA
	11Mbps	300 mA	+/-100mA
802.11g OFDM	6Mbps	300 mA	+/-100mA
	9Mbps	300 mA	+/-100mA
	12Mbps	300 mA	+/-100mA
	18Mbps	300 mA	+/-100mA
	24Mbps	300 mA	+/-100mA
	36Mbps	300 mA	+/-100mA
	48Mbps	300 mA	+/-100mA
	54Mbps	300 mA	+/-100mA
ESD/EMP CABLE SPECIFICATIONS			
Cable Dimensions	8 in length, 0.55mm diameter (26AWG)		
Terminal Material / Dimensions	Copper / 4.3mm diameter		
Attachment Procedure	Ground end to enclosure point tied to Earth Ground		
RANGE PERFORMANCE			
Indoor (Antenna Dependent):	Up to 200meters		
Outdoor (Antenna Dependent):	Over 50km		
DRIVER INFORMATION			
Operating System Support	Linux MADWIFI, WindowsXP, Windows2000		
Advanced Mobility / QuickHandoff	WindowsXP/2000 Utility with Enhanced Mobility Driver from Ubiquiti		
Cisco Support	CCX 4.0 Supported Driver/Utility also available from Ubiquiti		
For help with MADWIFI or other Special Driver Support, Please e-mail support@ubnt.com			

## Anexo D

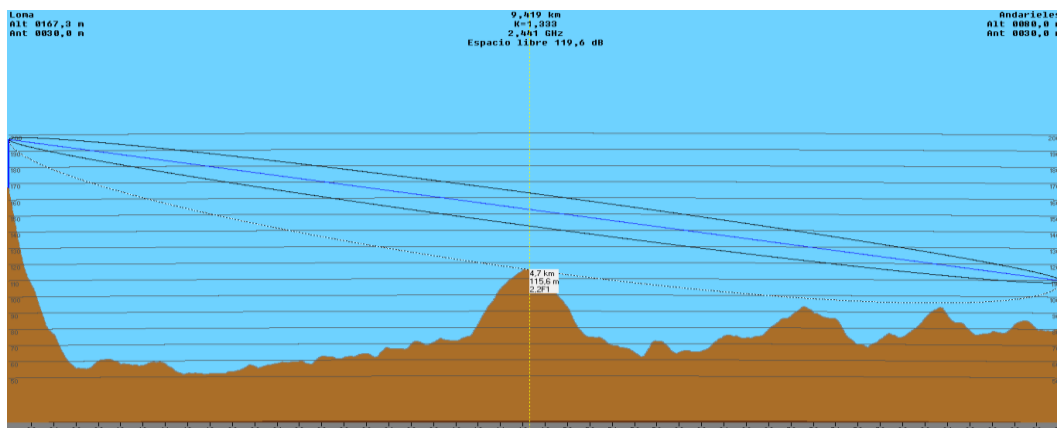
### Perfil topográfico de los enlaces de la red WiFi rural de Junín.



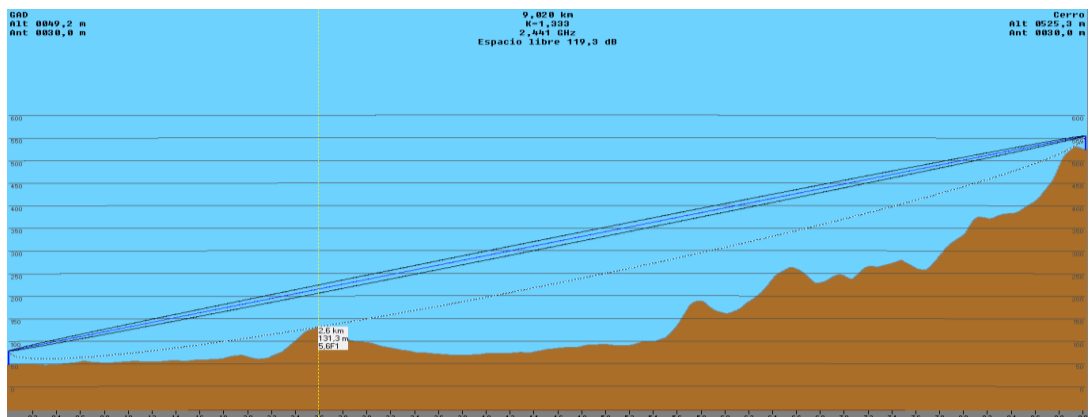
Perfil Topográfico enlace GAD-Loma



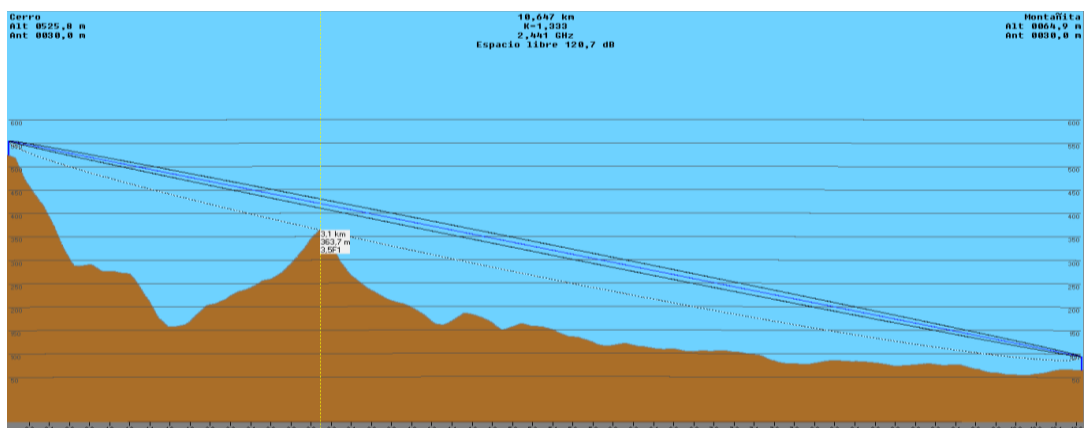
Perfil Topográfico enlace Loma- Aguafria.



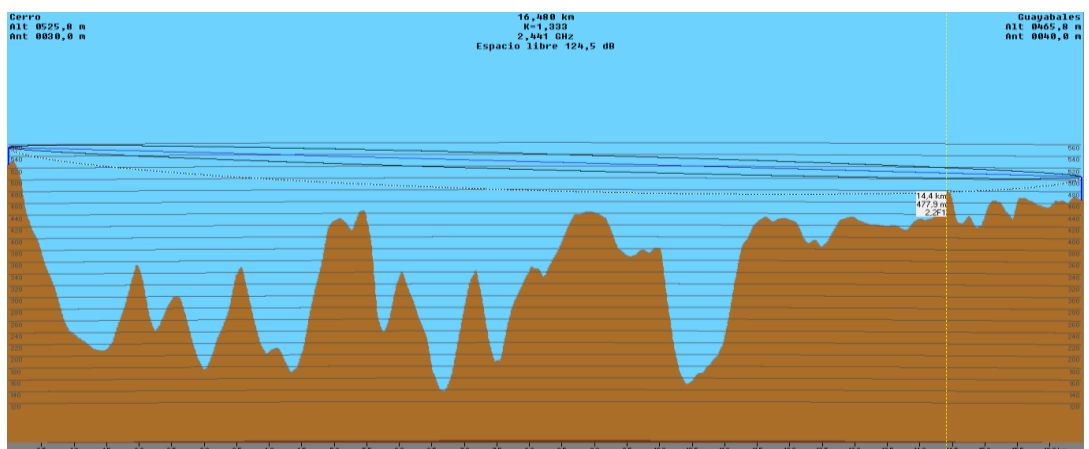
Perfil Topográfico enlace Loma- Andarieles.



**Perfil Topográfico enlace GAD-Cerro.**



**Perfil Topográfico enlace Cerro-Montañita.**



**Perfil Topográfico enlace Cerro-Guayabales.**

## Anexo E

### Instalación del simulador Ns2

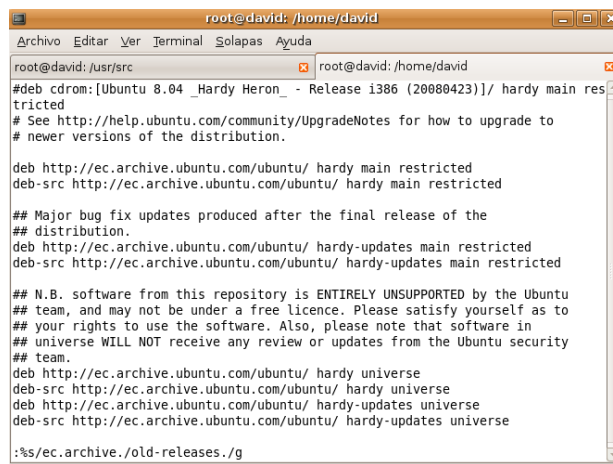
#### 1. Instalación del compilador gcc-3.3 y g++-3.3

Para la realizar esta instalación se deben realizar las siguientes configuraciones:

Primero agregamos una nueva fuente (*hardy*), la misma que contiene los repositorios de gcc-3.3 y g++-3.3; insertamos el siguiente comando en el terminal de ubuntu 8.04

```
root@david:/home/david# vi /etc/apt/sources.list
```

Luego presionamos “*Insert*” y agregamos la siguiente linea de instrucción:  
**:%s/ec.archive./old-releases./g**



```
root@david:/home/david
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Solapas  Ayuda
root@david:/usr/src root@david:/home/david
#deb cdrom:[Ubuntu 8.04 _Hardy Heron_ - Release i386 (20080423)]/ hardy main res
tricted
# See http://help.ubuntu.com/community/UpgradeNotes for how to upgrade to
# newer versions of the distribution.

deb http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu/ hardy main restricted
deb-src http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu/ hardy main restricted

## Major bug fix updates produced after the final release of the
## distribution.
deb http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu/ hardy-updates main restricted
deb-src http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu/ hardy-updates main restricted

## N.B. software from this repository is ENTIRELY UNSUPPORTED by the Ubuntu
## team, and may not be under a free licence. Please satisfy yourself as to
## your rights to use the software. Also, please note that software in
## universe WILL NOT receive any review or updates from the Ubuntu security
## team.
deb http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu/ hardy universe
deb-src http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu/ hardy universe
deb http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu/ hardy-updates universe
deb-src http://ec.archive.ubuntu.com/ubuntu/ hardy-updates universe

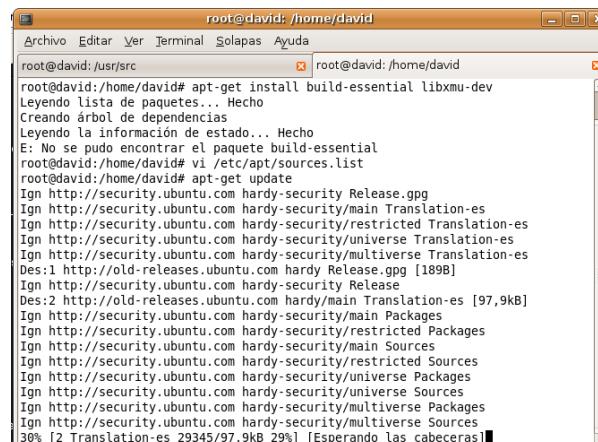
:%s/ec.archive./old-releases./g
```

Luego ejecutamos “*escape*”, y a continuación, escribimos en el terminal :  
**:wq!**

De esta forma se guardan los cambios realizados en este archivo.

Inmediatamente se ejecuta el siguiente comando:

**# apt-get update**



```
root@david:/home/david# apt-get install build-essential libxmu-dev
Leyendo lista de paquetes... Hecho
Creando árbol de dependencias
Leyendo la información de estado... Hecho
E: No se pudo encontrar el paquete build-essential
root@david:/home/david# vi /etc/apt/sources.list
root@david:/home/david# apt-get update
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security Release.gpg
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/main Translation-es
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/restricted Translation-es
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/universe Translation-es
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/multiverse Translation-es
Des:1 http://old-releases.ubuntu.com hardy Release.gpg [189B]
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security Release
Des:2 http://old-releases.ubuntu.com hardy/main Translation-es [97,9kB]
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/main Packages
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/restricted Packages
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/main Sources
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/restricted Sources
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/universe Packages
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/universe Sources
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/multiverse Packages
Ign http://security.ubuntu.com hardy-security/multiverse Sources
30% [2 Translation-es 29345/97,9kB 29%] [Esperando las cabeceras]
```

Como se aprecia en la figura el repositorio hardy se instala con normalidad. Inmediatamente se instala el compilador gcc-3.3 y g++-3.3

```
root@david:/home/david# apt-get install gcc-3.3 g++-3.3
```

Luego se verifica la versión del compilador por defecto con el siguiente comando:  
**# gcc -v**

```
root@david:/home/david# gcc -v
Usando especificaciones internas.
Objetivo: i486-linux-gnu
Configurado con: ../src/configure -v --enable-languages=c,c++,fortran,objc,obj-c
++,treelang --prefix=/usr --enable-shared --with-system-zlib --libexecdir=/usr/l
ib --without-included-gettext --enable-threads=posix --enable-nls --with-gxx-inc
lude-dir=/usr/include/c++/4.2 --program-suffix=-4.2 --enable-clocale=gnu --enabl
e-libstdc++-debug --enable-objc-gc --enable-mpfr --enable-targets=all --enable-c
hecking=release --build=i486-linux-gnu --host=i486-linux-gnu --target=i486-linux
-gnu
Modelo de hilos: posix
gcc versión 4.2.4 (Ubuntu 4.2.4-1ubuntu4)
root@david:/home/david#
```

Como se puede apreciar en el grafico, por defecto Ubuntu reconoce a su compilador de g++ más actualizado (4.2), con esa version no funciona ns2, es necesario colocar como primer alternativa al compilador gcc y g++ en la version antigua instalada (3.3), para ello se realiza la siguiente configuración:

```
root@david:/home/david# update-alternatives --install /usr/bin/gcc gcc /usr/bin/
gcc-3.3 40 --slave /usr/bin/g++ g++ /usr/bin/g++-3.3
root@david:/home/david#
```

Para verificar las alternativas existentes utilizamos el siguiente comando:  
**:update-alternatives --config gcc**

```
root@david:/home/david# update-alternatives --config gcc
Hay 2 alternativas que proveen `gcc`.
Selección      Alternativa
-----
*+             1      /usr/bin/gcc-4.2
                2      /usr/bin/gcc-3.3

Pulse <Intro> para mantener el valor por omisión [*] o pulse un número de selecc
ión:
```

Como se puede observar en la figura hay dos alternativas, 1 corresponde a la version por default 4.2 y la 2 es la alternativa que hay que escoger para poder instalar varias librerias y ejecutar los script.tcl

```
root@david:/home/david
Archivo Editar Ver Terminal Solapas Ayuda
root@david:/usr/src root@david:/home/david
gcc-4.2 60 --slave /usr/bin/g++ g++ /usr/bin/g++-4.2
root@david:/home/david# update-alternatives --install /usr/bin/gcc gcc /usr/bin/
gcc-3.3 40 --slave /usr/bin/g++ g++ /usr/bin/g++-3.3
root@david:/home/david# update-alternatives --config gcc
Hay 2 alternativas que proveen `gcc`.
Selección      Alternativa
-----
*+             1      /usr/bin/gcc-4.2
                2      /usr/bin/gcc-3.3

Pulse <Intro> para mantener el valor por omisión [*] o pulse un número de selecc
ión: 2
Se utiliza `/usr/bin/gcc-3.3' para proporcionar `gcc`.
root@david:/home/david# gcc -v
Leyendo especificaciones de /usr/lib/gcc-lib/i486-linux-gnu/3.3.6/specs
Configurado con: ../src/configure -v --enable-languages=c,c++ --prefix=/usr --ma
ndir=/usr/share/man --infodir=/usr/share/info --with-gxx-include-dir=/usr/includ
e/c++/3.3 --enable-shared --enable-cxa-atexit --with-system-zlib --enable-nls
--without-included-gettext --enable-clocale=gnu --enable-debug i486-linux-gnu
Modelo de hilos: posix
gcc versión 3.3.6 (Ubuntu 1:3.3.6-15ubuntu6)
root@david:/home/david#
```

Colocamos 2 y presionamos “enter”

Realizando estas configuraciones, se obtiene la instalación de la versión gcc-3.3 y g++-3.3.

## 2. Instalación de ns-2.1b9a

Luego de haber realizado la instalación de gcc-3.33 y g++-3.3, se procede a instalar las siguientes librerías y repositorios necesarios, para poder instalar sin novedades el ns2.1b9a:

**# apt-get install vim autoconf automake build-essential libxmu-dev**

Con la línea de comandos se instalan las siguientes librerías:

- autoconf
- automake
- build-essential
- libxmu-dev

Con estas instalaciones previas se procede a instalar el ns2, para ello es necesario descargar el software, ns-allinone-2.1b9a-gcc32 (compatible con gcc-3.3), desde la siguiente dirección electrónica: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-build.html>

En este caso de estudio se descargó y se desempaquetó en el escritorio, la figura que se muestra a continuación muestra a detalle la ubicación del paquete de instalación y el comando usado para instalarlo: **./install**



```
david@david: ~/ns-allinone-2.1b9a
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Solapas  Ayuda
root@david: /usr/src  david@david: ~/ns-allinone-2.1b9a
david@david:~$ cd ns-allinone-2.1b9a/
bin/      include/  nam-1.0a11a/  sgb/      tk8.3.2/
cweb/     lib/     ns-2.1b9a/   tcl8.3.2/  xgraph-12.1/
gt-itm/   man/     otcl-1.0a8/  tclcl-1.0b12/  zlib-1.1.3/
david@david:~$ cd ns-allinone-2.1b9a/
bin/      include/  nam-1.0a11a/  sgb/      tk8.3.2/
cweb/     lib/     ns-2.1b9a/   tcl8.3.2/  xgraph-12.1/
gt-itm/   man/     otcl-1.0a8/  tclcl-1.0b12/  zlib-1.1.3/
david@david:~$ cd ns-allinone-2.1b9a/
david@david:~/ns-allinone-2.1b9a$ ./install
=====
* Build XGraph-12.1
=====
loading cache ./config.cache
checking for a BSD compatible install... (cached) /usr/bin/install -c
checking whether build environment is sane...
```

Luego de unos minutos, se instala con normalidad el software, al finalizar debe aparecer una información como la que se muestra en la siguiente ilustración:





Luego se descomprimen los archivos de TENS en el directorio... / ns-allinone-2.1b9a / ns-2.1b9a.

```
$ tar zxvf TENS Changes 1 2.tar.gz
```

Dentro del directorio TENS, ejecutar el script copy.sh para copiar los archivos pertinentes en el directorio NS2.

```
david@david:~/ns-allinone-2.1b9a/ns-2.1b9a/TENS Changes 1 2$ ./copy.sh
```

Después de ejecutar el script copy.sh, ingresamos al directorio .... / ns-allinone-2.1b9a / ns-2.1b9a y se realizan los siguientes cambios en el archivo Makefile:

Asignar a la variable CPP lo siguiente: "**CPP = g ++**"

Asignar a la variable NSE lo siguiente: "**NSE = nse**"

Asignar a la variable BUILD\_NSE lo siguiente: "**BUILD\_NSE =**"

Buscar la línea que contiene "mobile / antenna.o móvil / omni-antenna.o \" y sustituirla por:

"mobile / antenna.o móvil / omni-antenna.o móvil / dir-antenna.o \"

Buscar las líneas "AODV / aodv\_logs.o AODV / aodv.o \ AODV / aodv\_rtable.o AODV / aodv\_rqueue.o \" y añadir antes de ella, las siguientes líneas:

"wlstatic / wlstatic\_logs.o wlstatic / wlstatic.o \ wlstatic / wlstatic\_rtable.o wlstatic /wlstatic\_rqueue.o \".

Buscar la línea "mac / phy.o mac / cable-phy.o mac / wireless-phy.o \" y añadir después de ella, las siguiente línea:

"mac / wp2p-ll.o mac /-wp2p mac.o mac / wp2p-phy.o \"

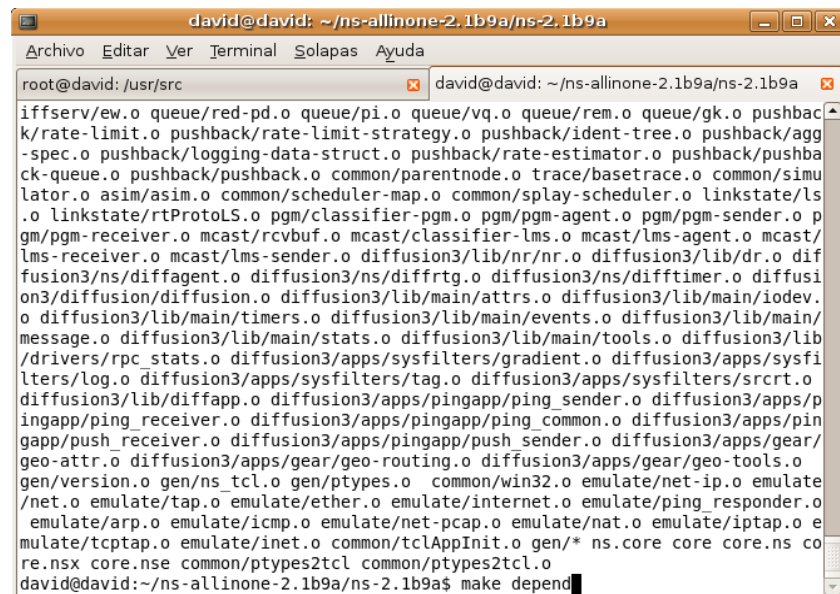
Buscar la declaración de la clase NS\_TCL\_LIB y añadir las siguientes líneas:

tcl / lib / ns-STDMA-lib.tcl \

tcl / lib / ns-STDMA-link.tcl \

Ahora se ejecuta en el terminal de Ubuntu: "make clean" y "make depende"

```
david@david:~/ns-allinone-2.1b9a/ns-2.1b9a$ make clean
```



```
david@david: ~/ns-allinone-2.1b9a/ns-2.1b9a
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Solapas  Ayuda
root@david: /usr/src  x  david@david: ~/ns-allinone-2.1b9a/ns-2.1b9a  x
iffserv/ew.o queue/red-pd.o queue/pi.o queue/vq.o queue/rem.o queue/gk.o pushbac
k/rate-limit.o pushback/rate-limit-strategy.o pushback/ident-tree.o pushback/agg
-spec.o pushback/logging-data-struct.o pushback/rate-estimator.o pushback/pushba
ck-queue.o pushback/pushback.o common/parentnode.o trace/basetrace.o common/simu
lator.o asim/asim.o common/scheduler-map.o common/splay-scheduler.o linkstate/ls
.o linkstate/rtProtoLS.o pgm/classifier-pgm.o pgm/pgm-agent.o pgm/pgm-sender.o p
gm/pgm-receiver.o mcast/rcvbuf.o mcast/classifier-lms.o mcast/lms-agent.o mcast/
lms-receiver.o mcast/lms-sender.o diffusion3/lib/nr/nr.o diffusion3/lib/dr.o dif
fusion3/ns/diffagent.o diffusion3/ns/difftrg.o diffusion3/ns/difftimer.o diffusi
on3/diffusion/diffusion.o diffusion3/lib/main/attrs.o diffusion3/lib/main/iodev.
o diffusion3/lib/main/timers.o diffusion3/lib/main/events.o diffusion3/lib/main/
message.o diffusion3/lib/main/stats.o diffusion3/lib/main/tools.o diffusion3/lib
/drivers/rpc_stats.o diffusion3/apps/sysfilters/gradient.o diffusion3/apps/sysfi
lters/log.o diffusion3/apps/sysfilters/tag.o diffusion3/apps/sysfilters/srcrt.o
diffusion3/lib/diffapp.o diffusion3/apps/pingapp/ping_sender.o diffusion3/apps/p
ingapp/ping_receiver.o diffusion3/apps/pingapp/ping_common.o diffusion3/apps/pin
gapp/push_receiver.o diffusion3/apps/pingapp/push_sender.o diffusion3/apps/gear/
geo-attr.o diffusion3/apps/gear/geo-routing.o diffusion3/apps/gear/geo-tools.o
gen/version.o gen/ns_tcl.o gen/ptypes.o common/win32.o emulate/net-ip.o emulate
/net.o emulate/tap.o emulate/ether.o emulate/internet.o emulate/ping_responder.o
emulate/arp.o emulate/icmp.o emulate/net-pcap.o emulate/nat.o emulate/iptables.o
emulate/tcptap.o emulate/inet.o common/tclAppInit.o gen/* ns.core core core.ns co
re.nsx core.nse common/ptypes2tcl common/ptypes2tcl.o
david@david:~/ns-allinone-2.1b9a/ns-2.1b9a$ make depend
```



Ejecutamos make:

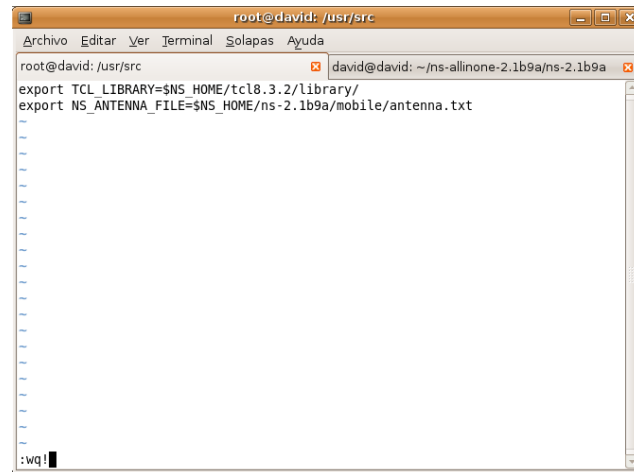
```
david@david:~/ns-allinone-2.1b9a/ns-2.1b9a$ make
```

Hay que realizar una exportación de la variable de entorno adicional: "NS\_ANTENNA\_FILE", con el valor de la ruta, que contiene el archivo que almacena la radiación de la antenna, que se va a utilizar en la simulación.

```
$ export NS_ANTENNA_FILE = ..... / ns-allinone-2.1b9a / ns-2.1b9a / mobil  
/antenna.txt
```

Para ello ingresamos en el terminal el siguiente comando:

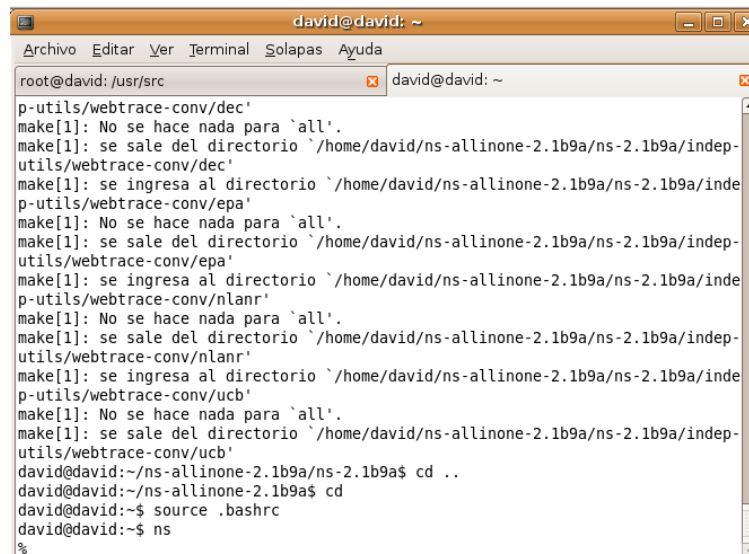
```
david@david:~$ vi .bashrc
```



Se guardan los cambios:

```
david@david:~$ source .bashrc
```

Luego de realizar todos estos pasos, ejecutamos una instrucción en el terminal de Linux, para comprobar si la instalación de TENS 1.2 en ns2.1b9a se realizó con éxito:

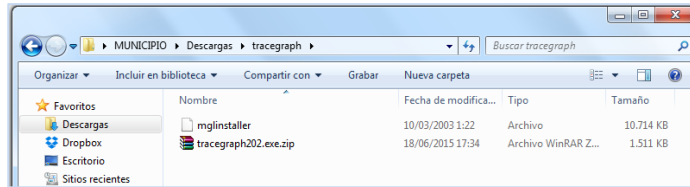


Como se aprecia en la figura, al insertar "ns" en el terminal, nos debe devolver lo siguiente "%". De esta forma corroboramos que el simulador está listo.

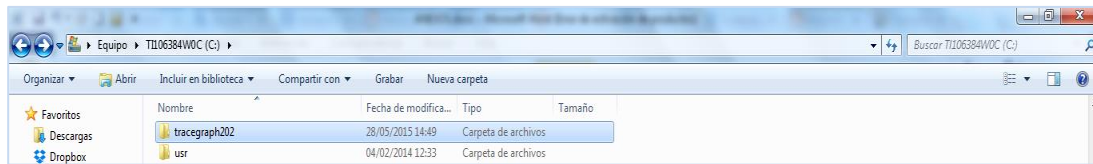
#### 4. Instalación de Tracegraph en Windows.

Instrucciones de instalación en Windows:

- Descargar tracegraph y mglinstaller desde la página oficial, asegúrese en descargar la versión para windows: <http://www.tracegraph.com/download.html>

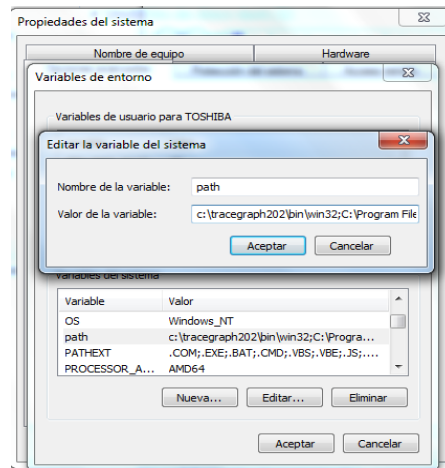


- Descomprimir tracegraph202.zip en la siguiente ruta, C: \ tracegraph202

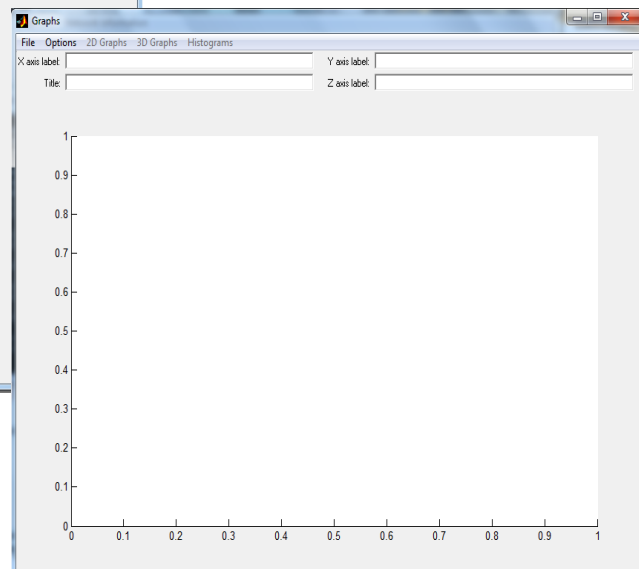
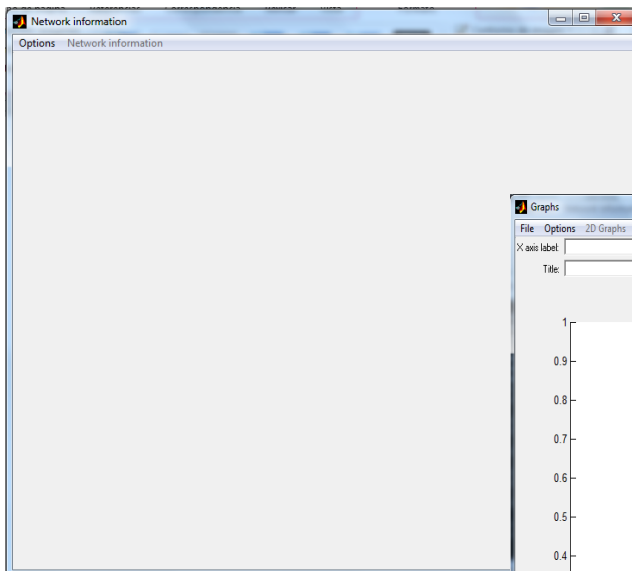
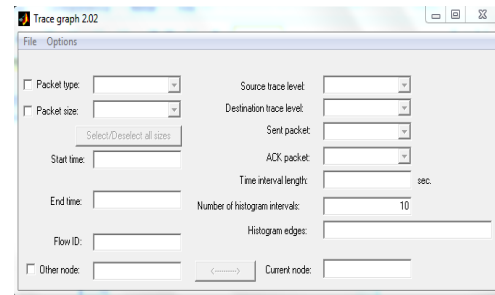
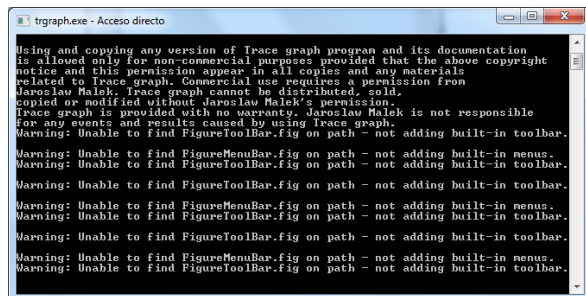


- Ejecutar mglinstaller.exe (contiene las bibliotecas MATLAB), cuando pregunte por el nombre del directorio, escriba **C: \ tracegraph202**, se creará una carpeta win32 y generará archivos .dll, en la ruta **C: \ tracegraph202\bin\win32**.
- Luego de la instalación de mglinstaller.exe, se instala tracegraph el mismo que crea el siguiente directorio: **C: \ tracegraph202\bin\win32**.
- Agregar el directorio anterior, en la variable PATH.

Clic derecho sobre Mi PC, seleccione *Propiedades*, luego *Configuración avanzada del sistema*, a continuación escogemos la pestaña *Opciones avanzadas*, hacemos clic en *Variables de entorno*, en la parte de Variable de sistema, seleccione *nueva* (si no se ha creado), agregue un nombre en este caso *path* y añada la ruta donde se encuentra instalado tracegraph en este ejemplo: **C: \ tracegraph202\bin\win32**, de inmediato aceptamos los cambios.



- Haga doble clic en trgraph.exe , para verificar que está bien la instalación nos debe aparecer la cuatro ventanas que se presentan a continuación:



## Anexo F

```
##### -----PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR -----#####
#####----- SIMULACIÓN NS-2.1b9a + TeNs-1.2 -----#####
#####----- WIFI RURAL DE JUNÍN.-----#####
#=====
#Programa Principal
set val(chan) Channel/Channel_802_11 ;# Tipo de canal
set val(prop) Propagation/Shadowing ;# Modelo de propagación
set val(netif) Phy/WirelessPhy/Wireless_802_11_Phy ;# Tipo de interfaz de red
set val(mac) Mac/802_11 ;# Tipo de MAC
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# Tipo de interfaz de cola
set val(ll) LL ;# Capa de enlace
set val(ant) Antenna/DirAntenna ;# Modelo de antena
set val(ifqlen) 50 ;# max pACKet in ifq
set val(nn) 2 ;# Número de nodos
set val(rp) WLSTATIC ;# Protocolo de enrutamiento
set val(ni) 1 ;# Número de interfaces
set opt(mod) Modulation/BPSK ;# Modulaciòn
set opt(x) 500 ;# Valor utilizado en la topografia
set opt(y) 500 ;# Valor utilizado en la topografia
#-----#
# Inicialización de las variables Globales
# se crea el objeto simulador
set ns_ [new Simulator]
# se asigna un archivo para guardar las trazas para posterior análisis
set tracefd [open GAD-Loma.tr w]
$ns_ trace-all $tracefd
# se crea el archivo tipo NAM
set namtrace [open GAD-Loma.nam w]
$ns_ namtrace-all-wireless $namtrace 10000 10000
# Se crea el objeto topografia y su area de acción
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)
# Create the specified number of mobilenodes [$val(nn)] and "attach" them
# to the channel.
# cnfiguracion de los nodos
    $ns_ node-config -adhocRouting $val(rp) \
        -llType $val(ll) \
        -macType $val(mac) \
        -ifqType $val(ifq) \
        -ifqLen $val(ifqlen) \
        -antType $val(ant) \
        -propType $val(prop) \
        -phyType $val(netif) \
        -channel [new $val(chan)] \
        -topoInstance $topo \
        -agentTrace ON \
        -routerTrace ON \
        -macTrace ON \
        -numif $val(ni) \

create-god $val(nn)
#####
#Parametrización de los nodos
proc create_node { x y z } {
    global ns_
#Configuracion de la propagación shadowing
    Propagation/Shadowing set pathlossExp_ 2.0
    Propagation/Shadowing set std_db_ 4.0
```

```

        Propagation/Shadowing set dist0_ 1.0
        Propagation/Shadowing set seed_ 0
#-----#
#configuración de la capa física
    Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 1.3163E-10
    Phy/WirelessPhy set CSThresh_ 1.3163E-10
    Phy/WirelessPhy set CPhresh_ 10.0
    Phy/WirelessPhy set L_ 1.0
    Phy/WirelessPhy set freq_ 2.4e+9
    Phy/WirelessPhy set bandwidth_ 5.5mb
    Phy/WirelessPhy set modulationscheme_ 1
#-----#
#Configuración de la capa MAC
    Mac/802_11 set CWMin_ 31
    Mac/802_11 set CWMax_ 1023
    Mac/802_11 MAC_RTSThreshold 3000
    Mac/802_11 MAC_FragmentationThreshold 2346
    Mac/802_11 set AirPropagationTime 0.000003
    Mac/802_11 set dataRate_ 5.5mb
    Mac/802_11 set basicRate_ 5.5mb

    set newnode [$ns_ node]
    $newnode random-motion 0
    $newnode set X_ $x
    $newnode set Y_ $y
    $newnode set Z_ $z
    return $newnode
}
#####
#Se crea un Agente UDP, luego se asocia al generador de trafico CBR al agente UDP. Por CBR se entiende como la
tasa constante de bits. El paquete se fija a 1500 bytes y cada paquete es enviado cada 0.005 segundo (200 paquetes por
segundo)
proc create_cbr_connection { from to startTime interval packetSize } {
    global ns_
    set udp0 [new Agent/UDP]
    set src [new Application/Traffic/CBR]
    $udp0 set packetSize_ $packetSize
    $src set packetSize_ $packetSize
    $src set interval_ $interval
    set sink [new Agent/Null]
    $ns_ attach-agent $from $udp0
    $src attach-agent $udp0
    $ns_ attach-agent $to $sink
    $ns_ connect $udp0 $sink
    $ns_ at $startTime "$src start"
    return $udp0
}

proc create_tcp_connection { from to startTime } {
    global ns_ par
    set tcp [new Agent/TCP]
    $tcp set packetSize_ 1500
    $tcp set class_ 2
    set sink [new Agent/TCPSink]
    $ns_ attach-agent $from $tcp
    $ns_ attach-agent $to $sink
    $ns_ connect $tcp $sink

    set ftp [new Application/FTP]
    $ftp set packetSize_ 1500
    $ftp attach-agent $tcp
    $ns_ at $startTime "$ftp start"
    $tcp attach $par

```

```

    $tcp trace cwnd_
    $tcp trace maxseq_
    $tcp trace rtt_
    $tcp trace dupacks_
    $tcp trace ack_
    $tcp trace ndatabytes_
    $tcp trace ndatapack_
    $tcp trace nrexmit_
    $tcp trace nrexmitpack_
    return $tcp
}
##### ....Configuraci3n node N° 0.....#####
#Se crea un Nodo se asigna la interfaz, la ubicaci3n en el plano de acuerdo a las coordenadas x,y,z, es importante
indicar que en las coordenadas se configura la distancia de los enlace. La potencia de transmisi3n del nodo, y el canal
en el que se va a transmitir para evitar la interferencia co-canal en la interfaz.
$ns_ node-config -numif 1
set node_(0) [create_node 10 10 0]
[$node_(0) set netif_(0)] set channel_number_ 1
[$node_(0) set netif_(0)] set Pt_ 0.1
#En esta parte del script tambi3n se setea el tipo de antena direccional a usar, trabajamos con el tipo 1, antena que
trabaja en la banda 2.4 GHZ y 24 dBi de ganancia; hay que asignar el 3ngulo de inclinaci3n de la antena.
set a [new Antenna/DirAntenna]
$a setType 1
$a setAngle 90
#$a setWidth 10
[$node_(0) set netif_(0)] dir-antenna $a
#####
$ns_ node-config -numif 1
# El nodo 1 se la asigna una distancia de 1200 m.
set node_(1) [create_node 10 1220 0]
[$node_(1) set netif_(0)] set Pt_ 0.1
[$node_(1) set netif_(0)] set channel_number_ 1
set a [new Antenna/DirAntenna]
$a setType 1
$a setAngle 265
#$a setWidth 10
#-----#
#Los siguientes comandos configuran manualmente la tabla de enrutamiento para "WLSTATIC", la sintaxis es la
siguiente:
#[$node_( ) set ragent_] addstaticroute <n3mero de saltos> <siguiente salto> <nodo destino> <interface de uso>
[$node_(0) set ragent_] addstaticroute 1 1 1 0
[$node_(1) set ragent_] addstaticroute 1 0 0 0
#-----#
#se crea una conexi3n cbr, a la cual se le asigna el agente UDP, entre los enlaces n0 y n1, con una interfaz, el tama1o
maximo de paquetes es de 1500 bytes, cada paquete es enviado en un intervalo de tiempo de 0.005 segundos.
set udp0 [create_cbr_connection $node_(0) $node_(1) 1.0 0.005 1500]
# Aqu3 se le indica a los nodos cuando finaliza la simulaci3n
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    $ns_ at 50.0 "$node_($i) reset";
}
$ns_ at 50.0 "stop"
$ns_ at 50.01 "puts \"NS EXITING...\" ; $ns_ halt"
proc stop {} {
#exec nam -a GAD-Loma.nam &
    global ns_ tracefd par
    $ns_ flush-trace
    close $tracefd
    close $par
}

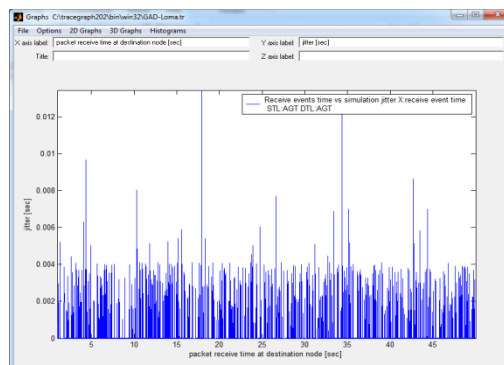
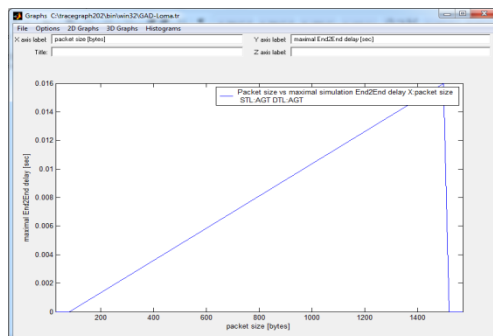
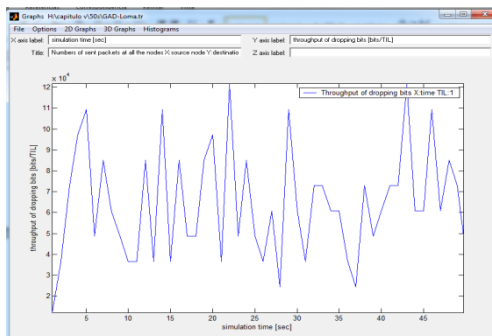
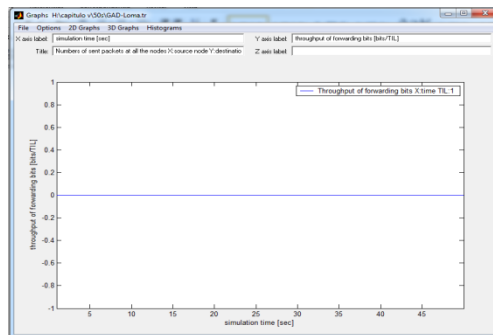
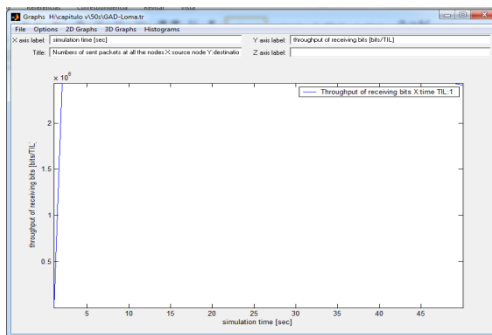
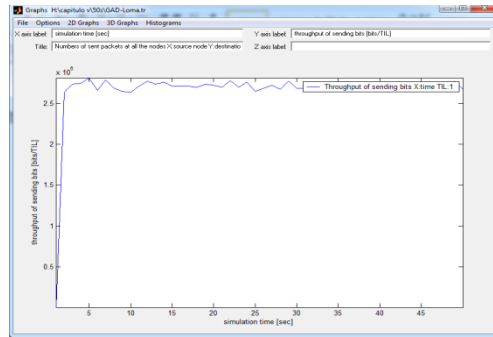
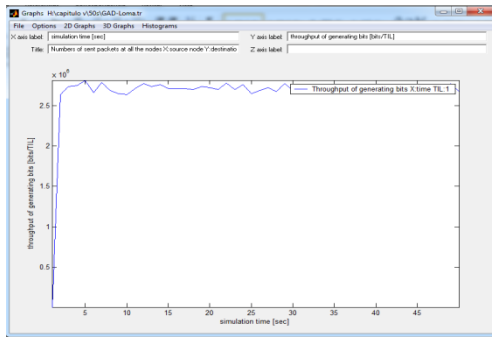
```

## Anexo G

### SIMULACION

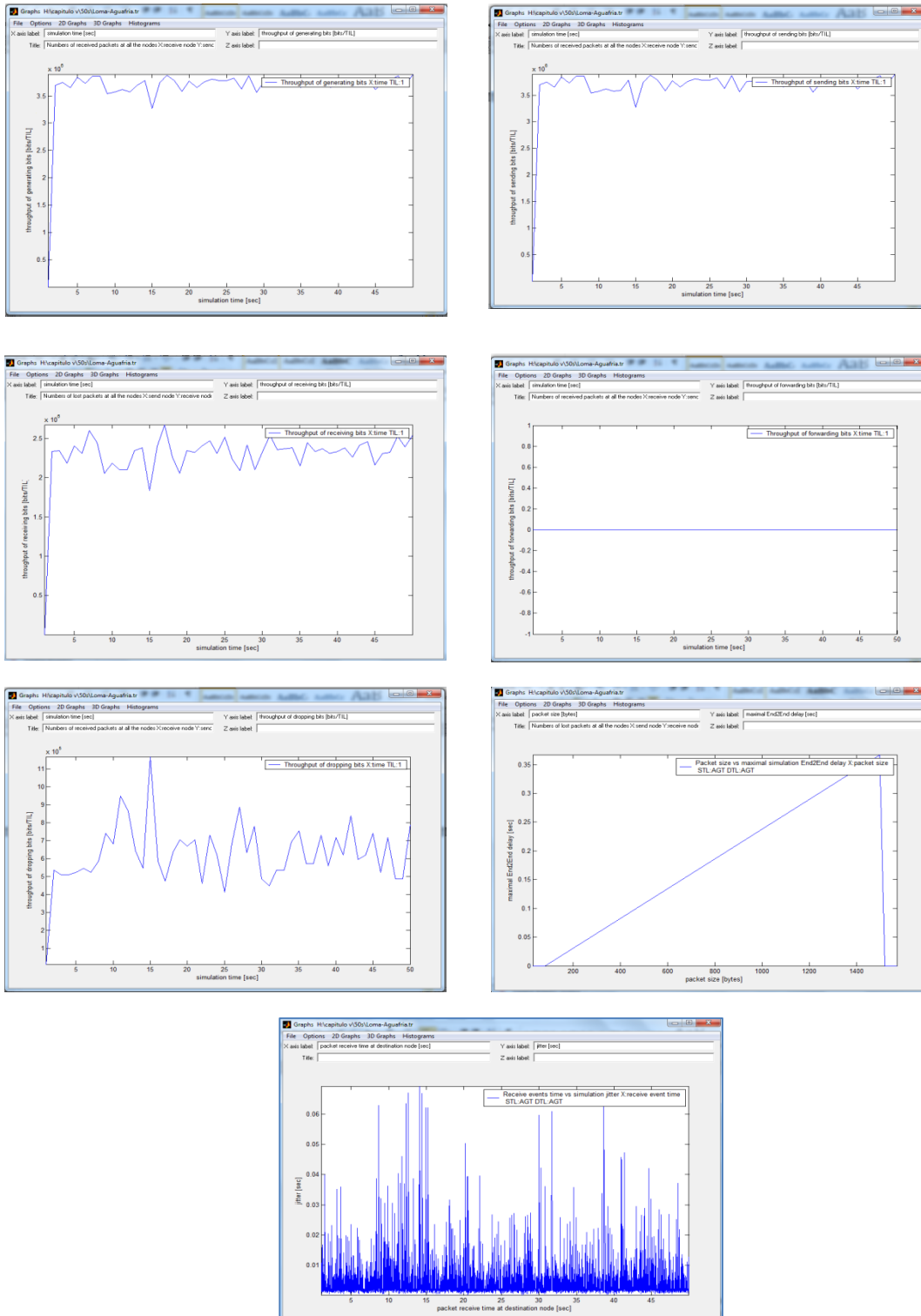
#### GAD -LOMA

Las figuras 1.2, 3, 4, 5, 6 y 7, muestran el rendimiento de los bits generados, enviados, recibidos, reenviados, eliminados, además del delay y jitter; respectivamente, en la simulación del enlace GAD-Loma, mediante la herramienta *tracegraph*.



## LOMA-AGUAFRÍA

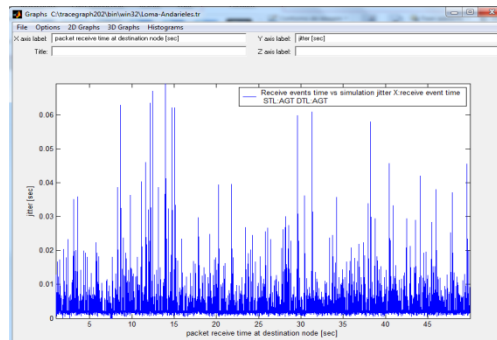
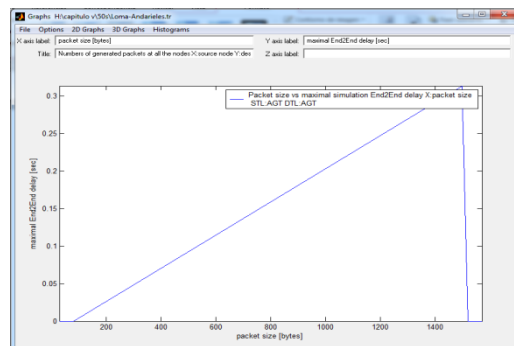
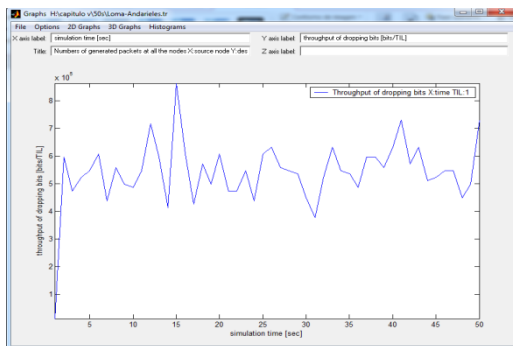
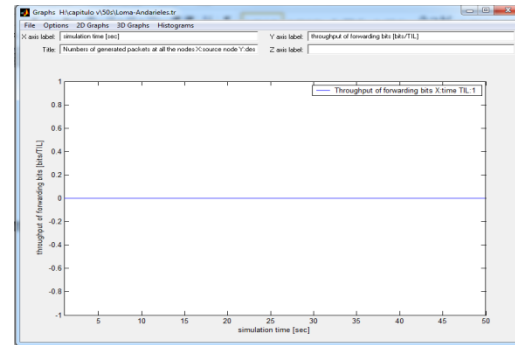
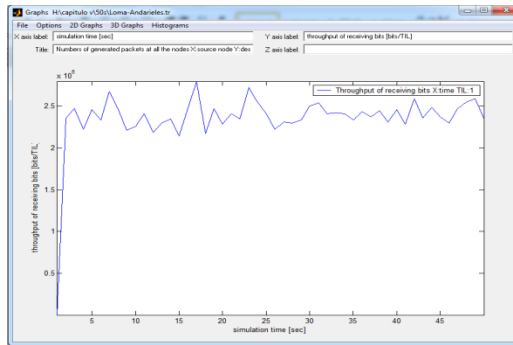
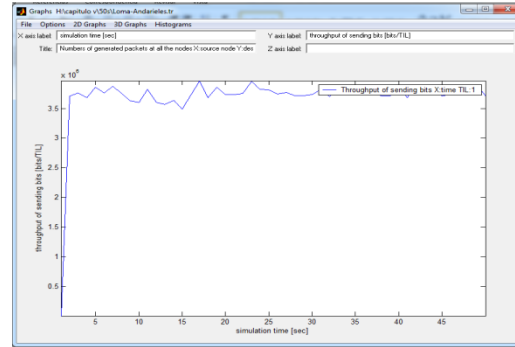
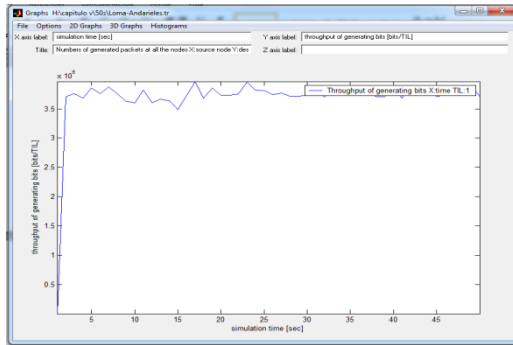
Las figuras 1.2, 3, 4, 5, 6 y 7, muestran el rendimiento de los bits generados, enviados, recibidos, reenviados, eliminados, además del delay y jitter; respectivamente, en la simulación del enlace Loma-Aguafría, mediante la herramienta *tracegraph*.





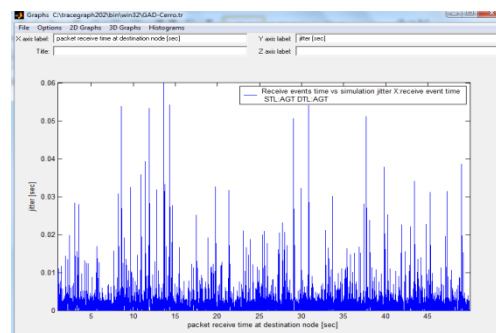
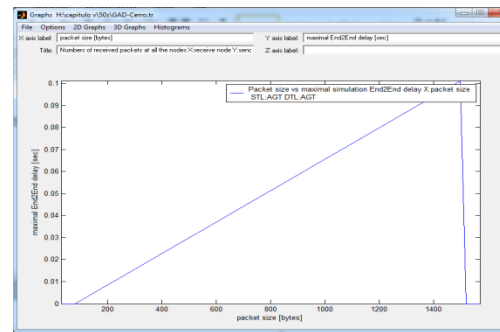
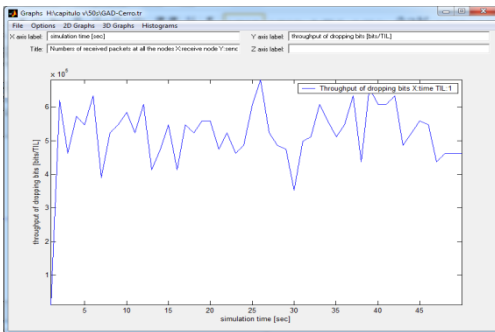
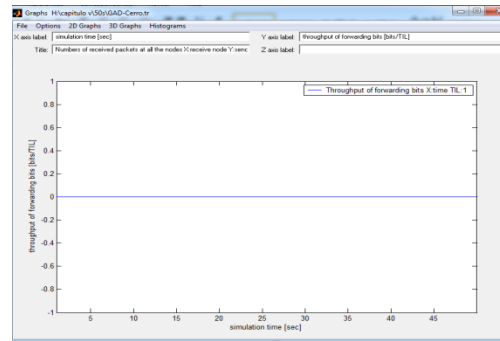
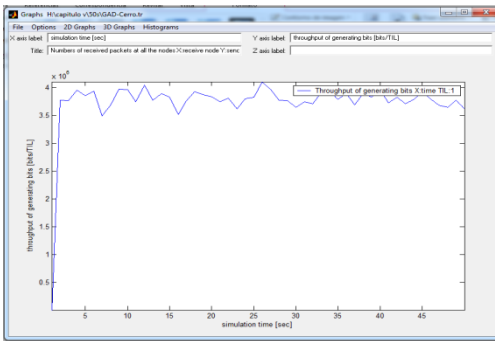
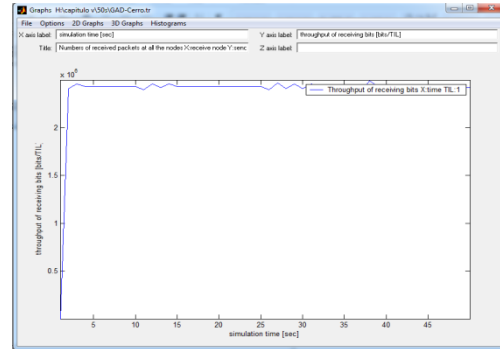
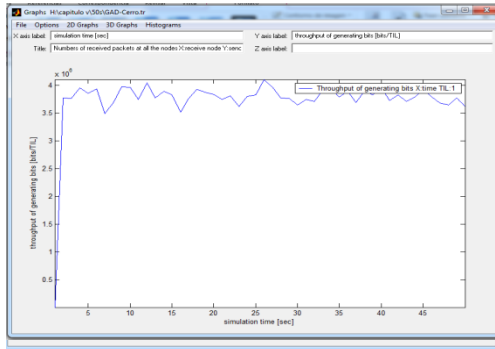
## LOMA-ANDARIELES

Las figuras 1.2, 3, 4, 5, 6 y 7, muestran el rendimiento de los bits generados, enviados, recibidos, reenviados, eliminados, además del delay y jitter; respectivamente, en la simulación del enlace Loma- Andarieles, mediante la herramienta *tracegraph*.



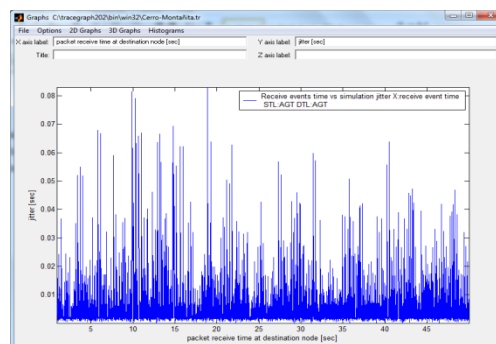
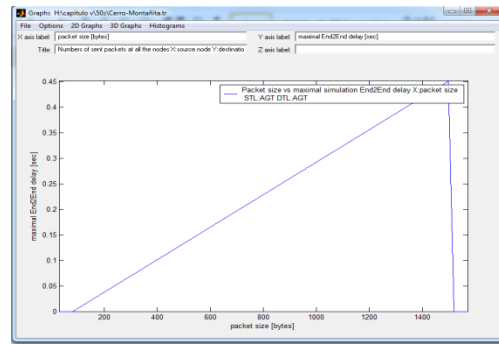
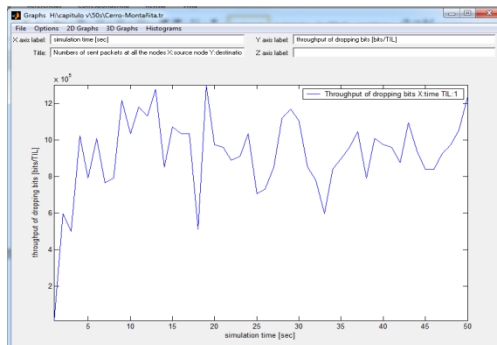
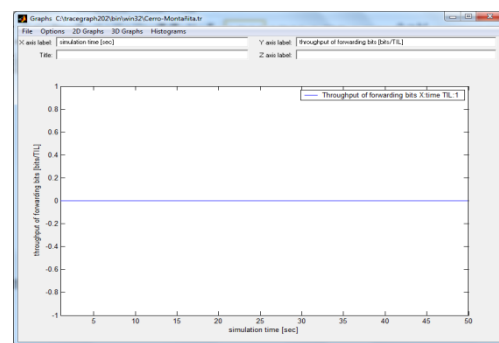
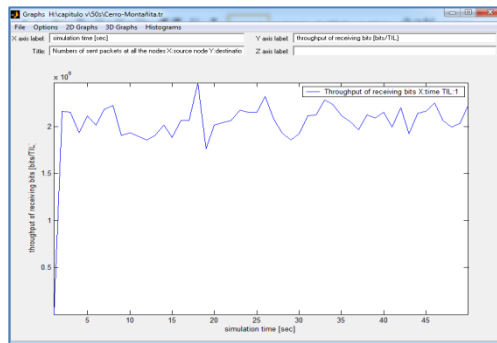
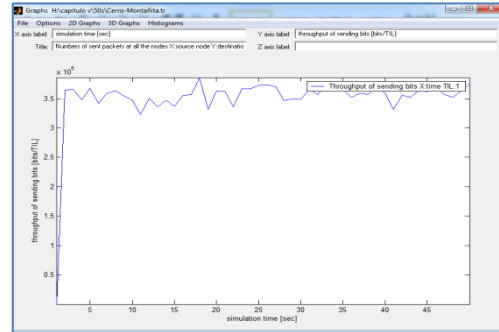
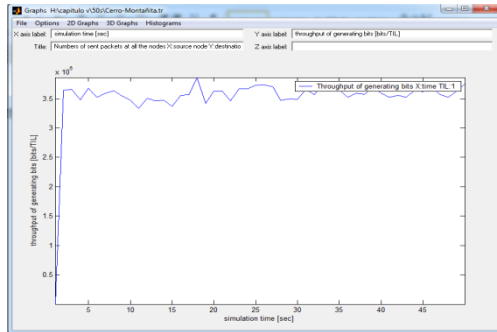
## GAD-CERRO

Las figuras 1.2, 3, 4, 5, 6 y 7, muestran el rendimiento de los bits generados, enviados, recibidos, reenviados, eliminados, además del delay y jitter; respectivamente, en la simulación del enlace GAD-Cerro, mediante la herramienta *tracegraph*.



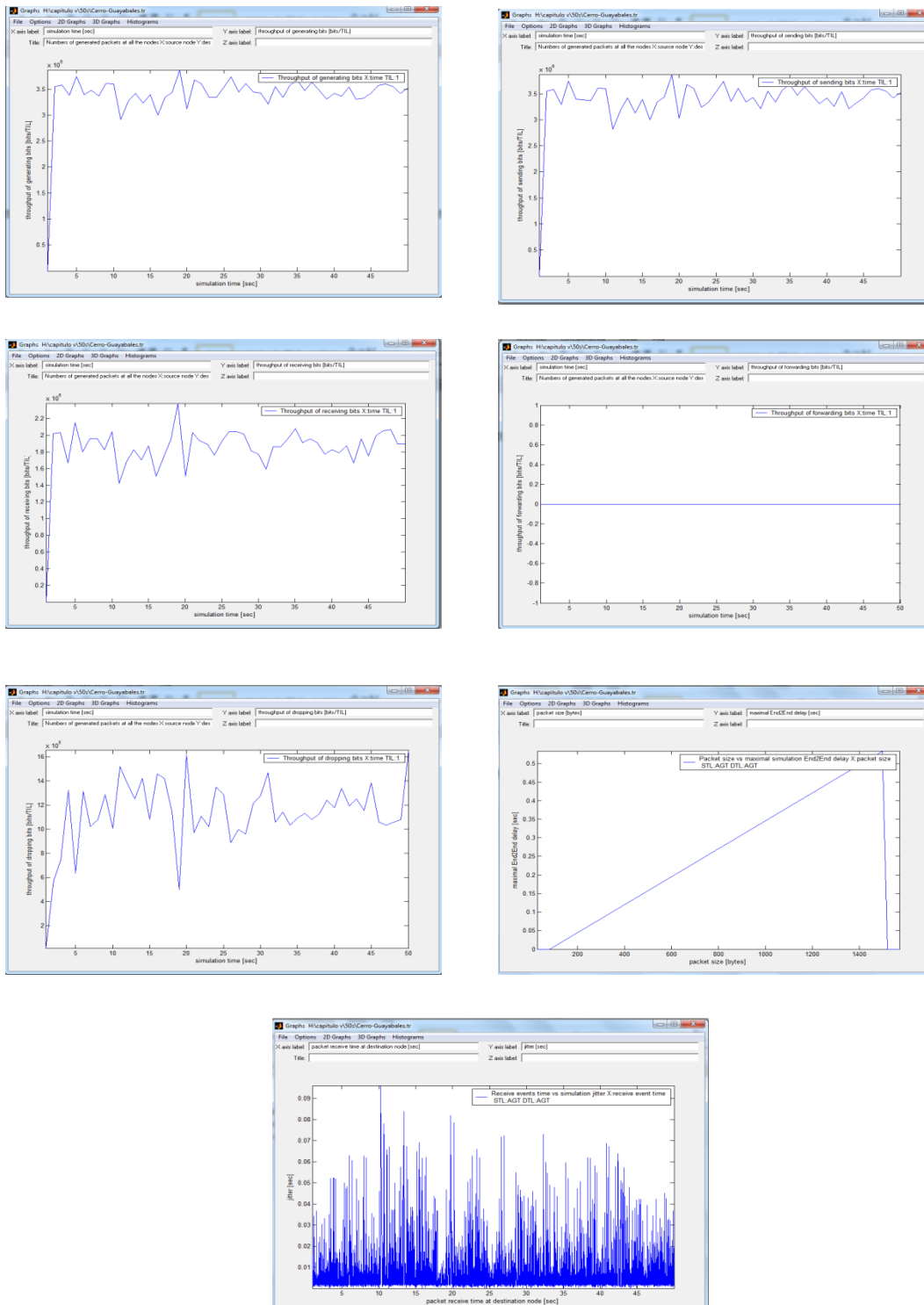
## CERRO-MONTAÑA

Las Figuras 1.2, 3, 4, 5, 6 y 7, muestran el rendimiento de los bits generados, enviados, recibidos, reenviados, eliminados, además del delay y jitter; respectivamente, en la simulación del enlace Cerro-Montaña, mediante la herramienta *tracepath*.



## CERRO-GUAYABALES

Las Figuras 1.2, 3, 4, 5, 6 y 7, muestran el rendimiento de los bits generados, enviados, recibidos, reenviados, eliminados, además del delay y jitter; respectivamente, en la simulación del enlace Cerro-Guayabales, mediante la herramienta *tracegraph*.



## Anexo H

### packetdeliveryratio.awk

```
##### INICIO #####
BEGIN {
    sendLine = 0;
    rcvLine = 0;
    fowardLine = 0;
}
$0 ~/^s.* AGT/ {
    sendLine ++ ;
}
$0 ~/^r.* AGT/ {
    rcvLine ++ ;
}
$0 ~/^f.* RTR/ {
    fowardLine ++ ;
}
END {
    printf "cbr s:%d r:%d, r/s Ratio:%.4f, f:%d \n", sendLine, rcvLine, (rcvLine/sendLine),fowardLine;
}
##### FIN #####
```

Para ejecutarlo primero se abre el terminal de una distribución de Linux, en este caso Ubuntu 8.04, y se ubica en el directorio donde está el archivo con extensión .tr (traza de la simulación obtenida) y luego se ejecuta como se muestra a continuación:

**\$ awk -f packetdeliveryratio.awk** (*nombre del archivo .tr*)